[I]NFORMATION ET CYBERNÉTIQUE

Cahiers de Royaumont

Le concept d'information dans la science contemporaine



[G]AUTHIER-VILLARS
[É]DITEUR, PARIS.

LE CONCEPT D'INFORMATION DANS LA SCIENCE CONTEMPORAINE

OUVRAGES DE LA COLLECTION

In-8 (16 x 25)

COUFFIGNAL (Louis), Inspecteur Général de l'Instruction Publique, *Les Notions de base*. VI-60 pages : 1958.

BONSACK (François). — *Information, thermodynamique, vie et pensée*. 187 pages ; 1962.

STANLEY JONES (D. et K.). — *La Cybernétique des êtres vivants*. Traduit de l'anglais par G. Richard, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes. XI-125 pages ; 1962.

PRUDHOMME (R.). — *Construction des machines automatiques*. VII-340 pages, 528 figures ; 1962.

PAYCHA (François). — *Cybernétique de la consultation*. XII-194 pages, 13 figures, tableaux ; 1963.

Communications et langages. Ouvrage collectif rédigé par A. A. MOLES et B. VALLANCIEN. XVIII-216 pages, figures ; 1963.

A paraître prochainement :

FRANK (Helmar). — *Information et Pédagogie*. Qu'apporte la théorie de l'information aux méthodes et aux techniques de la transmission des idées ?

GRENIEWSKI (Henryk). — *Cybernétique sans mathématique*. Traduit de l'anglais par Mme J. Whittingham.

METAIS (Claude). — *Machines à enseigner et pédagogie cybernétique*.

BIZE, CARPENTIER, GOGUELIN. — *Essai de méthodologie mentale*. I. La formation mentale. — II. Le problème pratique.

INFORMATION ET CYBERNÉTIQUE

Collection Internationale

SOUS LA DIRECTION DE M. LOUIS COUFFIGNAL

CAHIERS DE ROYAUMONT

LE CONCEPT D'INFORMATION DANS LA SCIENCE CONTEMPORAINE



Ouvrage publié avec le concours
du Centre National de la Recherche Scientifique

GAUTHIER-VILLARS | LES ÉDITIONS DE MINUIT

INTRODUCTION

M. Martial GUEROULT
Président du Comité des Colloques
Philosophiques internationaux de Royaumont

M. LE PRESIDENT.

Mesdames, Messieurs. Il est dans la tradition des colloques philosophiques de Royaumont de réunir chaque année en cette abbaye des philosophes et des savants pour discuter, soit des penseurs d'autrefois que les circonstances ont plus particulièrement remis à l'ordre du jour, soit de grands problèmes qui, pour notre époque, sont nouveaux, ou à tout le moins paraissent l'être. C'est ainsi que Pascal, Descartes, Husserl, la *Philosophie analytique* et, l'an dernier, la *Dialectique* ont été tour à tour le thème de nos entretiens. Cette année, c'est la cybernétique.

Président des Colloques Internationaux de Royaumont, je me trouve à ce titre devoir présider ces jours-ci un débat dont le sujet dépasse mes compétences. Je vous demande donc de m'en excuser et de n'avoir égard qu'à ma bonne volonté et au désir extrême de m'instruire, grâce à vous, sur un problème qui, plus que jamais, est d'actualité.

Il semble en effet que, tant au point de vue de l'attrait qu'au point de vue de la nouveauté, on ne puisse contester l'opportunité d'un tel sujet. N'est-il pas évident que cet attrait va jusqu'à subjuguer la foule ? C'est qu'en construisant des machines qui s'informent et se règlent elles-mêmes, calculent, raisonnent, parlent, traduisent, se souviennent, choisissent et apprennent, l'homme semble avoir réussi à fabriquer en quelque sorte son double, à créer en tout cas un être supérieur au simple animal, puisqu'aucun animal ne raisonne, ne calcule, ne traduit. N'est-il pas ainsi devenu un démiurge plus étonnant que Dieu qui l'a créé, lui, faillible, alors qu'il fabrique, lui, des créatures infaillibles ? Comment les imaginations littéraires ne s'exalteraient-elles pas à l'idée

d'une création possible de surhommes et de sur-cerveaux, desquels on pourrait se demander si, du fait de leur perfection même, ils ne s'affranchiraient pas finalement quelque jour de l'esclavage où les tiendraient leurs créateurs, pour les dominer à leur tour, nouveaux Titans, qui, plus heureux que les anciens, réussiraient à escalader le ciel et à détrôner leur Jupiter ?

Mais, tandis qu'à ce propos l'imagination s'enflamme à reconstruire, pour le plaisir de s'effrayer, les plus anciens mythes, la raison qui s'interroge sereinement répond de son côté par l'espérance et par l'optimisme. L'invention des merveilles de la cybernétique, demandera-t-on, ne va-t-elle pas contribuer à courber l'homme davantage sous le joug de la machine ? Avec l'automation — a-t-on remarqué — a commencé le pire des esclavages, car elle a imposé à l'homme le rythme même de la machine. Mais l'automation n'était pas encore la machine à information ; celle-ci, ajoutée à celle-là, dispense l'homme des servitudes du contrôle, si bien que, grâce aux servo-mécanismes, il cesse d'être serf de la mécanique. Méditant sur Bergson, lui-même méditant sur le poids accumulé de la technique matérielle, sur « ce corps massif [qui] attend un supplément d'âme », Raymond Ruyer observe avec pertinence que les machines à information font au cerveau humain comme un supplément de cerveau, ce par quoi devient précisément possible ce supplément d'âme réclamé par Bergson, car, libérée de tout travail, servile, manuel ou cérébral, l'âme sera entièrement disponible pour se cultiver et mieux maîtriser son destin.

Si l'attrait de la cybernétique, qui captive l'imagination autant que la raison, est incontestable, sa nouveauté ne l'est pas moins. On a pu, à propos de l'avènement de la physique nucléaire, parler d'une nouvelle ère de l'humanité, l'ère atomique ; de même on a pu, évoquant l'invention des machines à information, parler d'une ère cybernétique : « Les machines à percevoir les *universals* ont une signification révolutionnaire pour les sciences naturelles, la morale, aussi bien que la physique, et pour les théories sur le facteur normatif dans la loi, la politique, la religion et les sciences sociales » ; elles permettent de « surmonter le dualisme de l'esprit et de la matière », etc.

Ces paroles de Northrop montrent jusqu'à quel point la cybernétique est plus qu'une technique raffinée pour construire des robots ; elle prétend, en effet, s'élever jusqu'à une doctrine philosophique apportant une solution définitive aux problèmes métaphysiques fondamentaux.

C'est parce que la cybernétique s'est élevée à une doctrine

philosophique, voire métaphysique, que nous voyons réunis dans cette salle des mathématiciens, des physiciens, des biologistes et des philosophes ; bref, d'une part, des hommes qui sont astreints aux recherches les plus minutieuses, les plus techniques, les plus concrètes et, d'autre part, des hommes dont le métier est de manier des concepts. Mélange rare et étrange. Il faut espérer qu'il ne sera pas détonant. Le danger, à vrai dire, réside moins dans une explosion possible que dans la séparation invincible d'éléments hétérogènes, dans la difficulté de marier étroitement ce qui peut être considéré — du dehors — comme l'eau et le feu.

Cependant, si nous suivons le fil même de la cybernétique, nous apercevons sans difficulté comment elle a dû glisser vers la philosophie ; *feed-back*, auto-régulation, reconnaissance automatique des formes comme *universals, learning,* etc., autant d'inventions, d'appareillages et de phénomènes nouveaux produits par l'homme, qui contraignent à réexaminer les problèmes de l'équilibre organique et psychique, ceux de la sensibilité intéressée, de la perception des objets, des compensations et de l'apprentissage. De nouveaux schémas d'explication, ou peut-être d'anciens schémas, mais infiniment plus poussés, plus subtils et moins gratuits, sont proposés au physiologiste et au psychologue, d'où de nouvelles interprétations qui doivent se confronter avec de plus anciennes, soit avec le Behaviorisme, soit avec la Gestalttheorie, soit avec la psychologie traditionnelle.

Quelle que soit la validité des prétentions philosophiques d'une certaine cybernétique ambitieuse, on ne peut nier qu'elle ait apporté un regain d'autorité à la doctrine mécaniste des êtres vivants. En proclamant, par exemple, avec Hull qu'« on doit ne rien supposer ni produire dans un organisme qui ne puisse se produire aussi dans un robot entièrement automatique », la cybernétique s'élève à cette affirmation radicale que, non seulement dans l'organisme tout est machine, mais que l'organisme n'est que machine. Par là elle pense résoudre à sa façon le problème de la nature de la vie, voire le problème de son origine, ou, à tout le moins, celui de la limite entre le vivant et l'inerte. Elle reprend, mais avec une vigueur et des ressources accrues, l'essentiel des thèses cartésiennes sur les *animaux-machines*.

Il est, je crois, impossible d'évoquer ces problèmes sans prononcer le nom de Descartes, sans lui rendre l'hommage qui lui est dû, comme à l'un des plus lointains précurseurs de la cybernétique, en tant que doctrine philosophique s'entend, puisqu'à la différence de Pascal, il n'a pas, lui, mis la main à la pâte en tentant de construire une machine à calculer.

De très bonne heure, dès 1625, s'était imposée à lui la comparaison des automates et des animaux, et la possibilité d'expliquer mécaniquement le comportement tant de leur corps que du corps humain, considéré dans sa matérialité. Dans le *Discours de la Méthode,* après avoir décrit la mécanique du corps humain, il observe que tout ce qu'il vient d'expliquer « ne semble nullement étrange à ceux qui, sachant combien de divers automates ou machines mouvantes l'industrie des hommes peut faire sans y employer que fort peu de pièces, à comparaison de la grande multitude des os, des muscles, des nerfs, des artères, des veines et de toutes les autres parties qui sont dans le corps de chaque animal, considèrent ce corps comme une machine qui, ayant été faite des mains de Dieu, est incomparablement mieux ordonnée et a en soi des mouvements plus admirables qu'aucune de celles qui peuvent être inventées par les hommes » (V[e] partie, VI, pp. 55-56).

Dans les *Principes,* il confirme : « Je ne reconnais aucune différence entre les machines que font les artisans et les divers corps que la nature seule compose, sinon que les effets des machines ne dépendent que de l'agencement de certains tuyaux ou ressorts ou autres instruments qui, devant avoir quelques proportions avec les mains de ceux qui les font, sont toujours si grands que leurs figures et mouvements se peuvent voir, au lieu que les tuyaux ou ressorts qui causent les effets des corps naturels sont ordinairement trop petits pour être aperçus par nos sens » (IV, art. 203).

Entre ces deux textes, l'un qui s'adresse au grand public, l'autre qui s'adresse aux doctes, notons une différence sensible : ce qui dans le premier est attribué à Dieu l'est dans le second à la *nature.* Par là est impliqué que, non seulement l'organisme n'est que mécanique, mais qu'il résulte lui-même du mécanisme. Par là se justifient les explications mécanistes de l'embryologie, telles que les exposent le *Traité de la formation du fœtus.* Bien mieux ; si ce qui est artificiel peut servir à expliquer le naturel, c'est que l'artificiel lui-même n'est que naturel. (*Princ., ibid.*) D'où cette conception que les combinaisons organiques que l'homme s'imagine être dues à la finalité, parce que lui-même en réalise de semblables selon des idées préconçues, doivent résulter en fait du simple jeu de mécanismes aveugles. Ainsi, l'origine des animaux n'est nulle part ailleurs que dans la matière inanimée. Thèse que repoussera Malebranche, lequel admet bien que l'organisme fonctionne, se développe, se reproduise à travers l'espèce en vertu des seules lois du mécanisme, mais soutient que le modèle organique a dû être fabriqué, et fabriqué par une intelligence infinie, si bien que lorsque nous admirons l'animal, nous admirons en fait l'intelligence infinie de son ouvrier.

Cependant, si par cette mécanisation totale du monde des organismes, Descartes est parvenu aux conclusions qui seront celles d'une certaine cybernétique ambitieuse, il y est arrivé par d'autres voies.

En apparence, on dirait que ces voies sont les mêmes, que Descartes, comme la cybernétique, s'élève de la considération d'automates très perfectionnés à des conclusions philosophiques sur la nature des organismes vivants. En réalité, il n'en est rien. La possibilité de fabriquer artificiellement des modèles qui imiteraient, même parfaitement, la vie, ne permet pas aux yeux de Descartes de conclure à l'identité des organismes et des machines ; elle autorise tout au plus à considérer qu'une telle conclusion est simplement concevable. Pour la transformer en conclusion certaine, il faut prouver qu'aucun *autre mode d'explication n'est possible* (*Princ.*, IV, art. 206).

Bref, la théorie des animaux-machines suppose des fondements métaphysiques indépendants de la considération des machines artificielles, faute de quoi elle reste une hypothèse gratuite.

Ces fondements métaphysiques sont pour Descartes les suivants :

1) Etant des substances incommensurables, la Pensée et l'Etendue (en celle-ci consiste la matière) sont radicalement séparées. Tout dans le monde matériel ne peut donc s'expliquer que par l'étendue et le mouvement, sans la moindre intervention d'un facteur de nature psychique.

2) L'animal n'est rien d'autre qu'un corps matériel. En effet, son comportement indique qu'il est dépourvu d'intelligence. Comme Descartes a démontré d'autre part que l'essence de l'âme, c'est l'intelligence, on devra en conclure que l'animal est dépourvu d'âme ; par là même, il est nécessairement dépouillé de toutes les facultés autres que l'intelligence : sentiment, volonté, etc., qui sont des accidents de l'âme, car là où l'essence est absente, sont absents du même coup les accidents. En conséquence, l'animal n'étant que corps matériel, tout en lui doit s'expliquer par le seul mécanisme. L'hypothèse de l'animal-machine n'est plus alors une conception plausible, c'est une conception nécessaire.

Du moins serait-elle nécessaire, s'il était absolument certain que l'animal fût sans intelligence. Or, il n'en est rien, car, sur ce point, les preuves font défaut et nous ne parvenons qu'à une très grande probabilité fournie par l'expérience. De

ce fait, la thèse des animaux-machines reste seulement probable, quoique d'une probabilité approchant de la certitude.

Cependant, quelles sont les raisons qui permettent de croire que l'animal n'a pas d'intelligence ?

1° C'est qu'il n'a pas de langage : « Car on peut bien concevoir qu'une machine soit tellement bien faite qu'elle profère des paroles et même qu'elle en profère quelques-unes à propos des actions corporelles qui causent quelques changements en ses organes : comme, si on la touche en quelque endroit, qu'elle demande ce qu'on veut lui dire, si, en un autre, qu'elle crie qu'on lui fait mal et chose semblable, mais non pas qu'elle les arrange diversement pour répondre au sens de tout ce qui se dira en sa présence, ainsi que les hommes les plus hébétés peuvent faire. »

2° « Bien que les bêtes fassent plusieurs choses aussi bien et même plus infailliblement que nous, elles n'agissent pas par connaissance, mais par la disposition de leurs organes. Car au lieu que la raison est instrument universel qui peut servir en toutes sortes de rencontres, ces organes ont besoin de quelque particulière disposition pour chaque acte particulier. » Il est moralement impossible qu'une machine puisse avoir une telle diversité d'organes qu'elle puisse agir en toutes les occurrences de la vie de la même façon que notre raison nous fait agir (*Disc.*, *ibid.*).

La conscience étant éliminée de l'animal grâce à l'élimination de la raison, il est alors permis de dire que le corps de l'animal *n'est que machine* et qu'il fonctionne toujours automatiquement, même lorsque ce fonctionnement paraît s'accompagner de conscience, c'est-à-dire de cris, de gestes paraissant témoigner de sentiments, d'émotions, d'intentions. Il en va de même pour la machine du corps humain dont certaines actions sont pourtant accompagnées de conscience et même dirigées par elle. Au surplus, les réflexes témoignent que cette conscience n'est nullement indispensable à son fonctionnement. Descartes était ainsi fondé à instituer entre les fonctions physiologiques et les dispositions des machines cette comparaison perpétuelle grâce à laquelle aujourd'hui même les techniques de la cybernétique et la connaissance des fonctionnements physiologiques peuvent s'entraider à progresser du même pas. Mais cette comparaison ne fonde pas sa théorie ; au contraire, elle est fondée par elle.

Cependant, du fait que l'âme et la conscience, éliminées de l'animal, sont présentes dans l'homme, il résulte que ce qui constitue la limite entre l'inerte et le vivant, c'est l'intelligence. Etant seul à posséder l'intelligence, l'homme est le seul être véritablement *vivant* pour autant qu'on oppose matière et vie. Le règne du mécanisme trouve donc pour Descartes sa limite dans le *corps de l'homme*, c'est-à-dire dans *le corps du vivant*. Car l'âme, étant réellement, substantiellement unie à son corps au point de ne faire qu'un avec lui, lui confère une indivisibilité absolue qui est celle de l'esprit, l'esprit étant par nature indivisible. Bref, l'âme est la forme du corps humain et par là fait de lui un corps qui ne ressemble à aucun autre. En effet, lorsqu'un corps quelconque est divisé, il devient un autre corps, tandis que si l'on ampute le corps d'un homme, il conserve son individualité, c'est-à-dire qu'il subsiste comme le même corps, ou comme le corps du même homme. Etant ainsi pénétré d'esprit, le corps ici ne fait qu'un avec l'esprit et devient indivisible comme lui. C'est pourquoi la substance âme-corps subsiste identique à elle-même, quels que soient les avatars que subit le corps, tant que ces avatars n'entraînent pas la dissolution de l'union substantielle.

Il en résulte une étrange et inadmissible cassure entre le règne des animaux et celui des corps humains, puisqu'on refuse aux premiers, en tant que pure matière, l'indivisibilité fonctionnelle qui est le propre des seconds. Si l'on ampute un homme, il reste le même homme, si l'on ampute le corps d'un animal il devient un autre corps et cesse d'être cet animal.

Conséquence inouïe !

Inouïe, certes, mais en quel sens ? Est-ce en ce sens qu'on prive l'organisme animal de la qualité de vivant reconnue à l'homme ? A coup sûr. Est-ce en ce sens que l'on prive ce qui n'est pas vivant de l'indivisibilité fonctionnelle et de l'unité numérique ? Certainement pas, car il n'y a rien de choquant à concevoir qu'un corps purement matériel soit dépourvu de l'indivisibilité et de l'unité qui sont le propre du vivant. L'explication mécaniste de l'être vivant se trouve alors devant cette alternative : ou bien tous les organismes — de l'homme et des animaux — sont de purs mécanismes et ils doivent être dépouillés de cette indivisibilité et de cette identité qui semblent caractériser l'être vivant, ou bien ils sont tous des êtres vivants, distincts des corps purement matériels, et ils doivent donc tous posséder réellement ces deux caractères ; mais comment alors expliquer ceux-ci mécaniquement ? Bref, si, conformément à l'évidence commune, on se refuse à réserver à l'homme le privilège de la vie pour l'accorder à tous les animaux, si alors, comme la plus élémentaire expérience nous y invite, on concède aux animaux comme aux hommes cette individualité foncière qui constitue leur identité numérique, il faudra expliquer com-

ment, contrairement à la machine inerte, la machine vivante peut subsister comme le corps du même animal, accomplir tant bien que mal les mêmes fonctions, alors qu'un membre ou tels ou tels organes lui sont enlevés. Et, à supposer qu'une machine puisse, selon un dispositif réglé d'avance, se montrer capable d'une telle suppléance, il faudra examiner si cette suppléance est du même ordre et expliquer comment l'organisme peut se réparer lui-même. Car, qu'on coupe une patte à un triton, et non seulement le triton se conserve, mais sa patte repousse. Dans quelle mesure une machine peut-elle en faire autant ? Bref, un organisme vivant n'est-il qu'un ensemble de circuits coordonnés capables de feed-back et d'auto-régulation, ou n'est-il pas aussi et surtout une certaine puissance qui, non seulement utilise cet appareillage, mais le coordonne, l'instaure, le modifie par ses efforts propres ? Ne pas simplement *être* une machine, mais *se faire machine,* tout est là. Pour fabriquer une machine à information, ne faut-il pas hors d'elle un être vivant, qui se fabriquant lui-même selon un processus embryogénique, s'informant absolument de façon originale, n'est plus simple machine ? A ce problème, l'examen du cartésianisme permet d'en ajouter un autre. En mettant en relief la différence fondamentale qui sépare l'action et le langage automatiques de l'action et du langage intelligents, c'est-à-dire conscients, il nous invite à poser la question de l'irréductibilité entre la compréhension d'un sens et la transmission d'un *pattern* déclenchant une certaine action ; à nous demander si l'information se réduit à la mise en mouvement d'un mécanisme efficace, ou si elle est l'acte d'une intelligence capable, en comprenant un signe, de le *transformer* pour elle en information. En un mot, le sens d'une information se réduit-il à l'action qu'elle déclenche, ce qui tend à annuler la réalité de la conscience, ou est-elle avant tout le propre de la conscience ? La conscience peut-elle être le but de l'information et être une fin pour elle-même, ou n'est-elle qu'un simple moment ayant sa fin hors d'elle ? Tout aussitôt ensuite se posera la question de savoir comment, si le cerveau est une simple machine à information, il peut non seulement transmettre, mais créer des messages, de sorte qu'il y aurait plus d'information à la sortie qu'à l'entrée, et que deviendrait possible, selon l'excellente et amusante expression de M. Ruyer, « un mouvement perpétuel de troisième espèce », etc.

Nous voyons donc que l'examen des thèses cartésiennes nous introduit aux problèmes fondamentaux de la cybernétique contemporaine et qu'il s'agit là, au fond, d'un problème ancien, renouvelé du fait que les machines à information de la technique moderne sont incomparablement plus perfectionnées que les automates rudimentaires du XVIIe siècle. Ce perfectionnement donne plus de poids à l'inférence qui conduit à identifier, quant à leur nature, la machine et l'organisme vivant, en vertu de la perfection d'un modèle automatique imitant à merveille certains comportements de l'animal. Cependant, cette induction à partir de la ressemblance reste précaire. Descartes, grand protagoniste pourtant de la théorie des animaux-machines, s'y était refusé. Pour lui, on l'a vu, une telle identification reste une hypothèse gratuite, tant qu'une démonstration n'établit pas qu'elle est la seule possible. Aussi, bien des philosophes assemblés ici seraient-ils curieux de se voir offrir une telle démonstration.

* * *

Mais je m'arrête pour me féliciter de cette collaboration si rare qui, grâce à la cybernétique, régnera ici entre scientifiques, techniciens et philosophes. Une telle collaboration n'est pas tellement commode, tant sont différentes les perspectives et les habitudes d'esprit. Pour la faciliter, notre programme, soigneusement construit par M. Simondon, s'est efforcé de s'élever peu à peu du plan le plus technique au plan le plus philosophique, en passant par la logique, l'axiomatique et la considération des problèmes humains. Il ne me reste donc plus qu'à souhaiter une bonne traversée aux passagers embarqués pour cinq jours sur la galère autorégulée de la cybernétique.

Pour finir, qu'il me soit permis de remercier les éminents savants étrangers et français qui, venus de divers points du monde, ont bien voulu, au prix souvent d'un long voyage, nous apporter le concours de leurs lumières. Notre reconnaissance ira aussi à M. Couffignal et à M. Aubel dont le colloque sur l'information biologique a pu introduire au nôtre et dont l'aide, à tout point de vue, nous a été précieuse. Elle ira également à nos dévoués collègues du Comité des Colloques philosophiques internationaux de Royaumont, en particulier à M. Simondon, si actif et si compétent. Nous n'oublierons pas non plus Mlle de Chambost qui, outre ses fonctions de secrétaire à l'Institut international de Philosophie, a bien voulu assurer de façon impeccable les tâches de notre secrétariat. Nous exprimerons enfin notre gratitude *the last, but not, the least,* à M. Goüin, l'hôte aimable à la générosité duquel nous devons de pouvoir tenir notre colloque sous les profondes voûtes de cette abbaye.

L'HISTORIEN
ET LA THEORIE DE L'INFORMATION

M. GIORGIO DE SANTILLANA
Massachusetts Institute of Technology
Président : M. GUEROULT

M. LE PRESIDENT.

Mesdames, Messieurs, en ouvrant notre deuxième séance, je vous annonce une petite modification à l'ordre du jour : l'absence de M. Perez a fait que nous aurons comme première communication aujourd'hui celle de M. de Santillana : *L'Historien et la théorie de l'information.*

M. DE SANTILLANA.

Messieurs, je tiens à m'excuser à l'avance des quelques réflexions incertaines que je vais faire sur le sujet en général ; je préfère penser que je joue le rôle de Prologue dans les comédies de la Renaissance, personnage évanescent, qui disparaît à peine l'action commencée. En vérité, je n'oserais jamais parler de cybernétique en la présence redoutable du maître qui a inventé le mot lui-même, et, en tant que témoin, je puis témoigner que vraiment c'est lui qui l'a inventé ; il ne savait pas qu'Ampère l'avait déjà inventé avant lui, et il est allé directement chercher dans le grec.

Mais enfin, s'il s'agit d'information — je ne dirai pas de cybernétique — je puis bien dire que c'est ce que l'historien a toujours cherché à travers bien des péripéties, car l'histoire c'est le passé, et le passé est un sujet multiple, ambigu et inépuisable. Et pour peu que le passé nous touche encore, vous voyez quel nombre d'avatars ébouriffants dans l'interprétation de ce passé ; par exemple, pensez à la Révolution française depuis deux siècles : il y a là une participation de

l'observateur ; et j'ai été grandement consolé que cette participation ait sa source dans nos organes mêmes, physiologiquement parlant. L'observateur est toujours dans le jeu, et me voilà au sujet. Notre œil lui-même, que voit-il ? on dirait, tant qu'il reste immobile en regardant l'objet, qu'il ne voit pas grand-chose ; nous savons désormais, depuis très peu de temps, que l'œil ne perçoit le détail de la réalité qu'à travers une oscillation continuelle, un micro-mouvement d'environ 150 cycles par seconde qui le déplace d'à peu près la moitié d'un diamètre de bâtonnet, et que si par hasard ce mouvement est annulé, comme on peut le faire par exemple en fixant une espèce de projecteur cornéal sur l'œil, de manière qu'il devienne solidaire du mouvement de l'œil, l'œil ne voit plus rien : il voit des formes évanescentes qui ne se renouvellent pas.

Mais ce n'est pas tant l'œil de l'homme qui m'a fait marcher dans cette direction de réflexion, c'est l'œil de la grenouille qui m'a frappé ; je vais dire des choses assez simples qui appartiennent à une zone de recherches actuelle, chez nous au M. I. T.

L'œil de la grenouille a été étudié au moyen de microélectrodes, lesquelles vous donnent des pointes sur l'oscillographe indiquant ce que l'œil de la grenouille remarque et ne remarque pas.

Je puis vous dire qu'il voit très peu de choses en réalité. Il ne voit pas ce que nous appelons le monde ; la grenouille ne le voit pas ; l'historien est donc quelquefois excusé ; le monde, dans son ensemble, la grenouille ne le voit pas du tout, elle ne voit que des objets qui se déplacent sur un fond invisible, et de ces objets même quelques-uns seulement ; elle voit par exemple un point qui se déplace sur le champ ; ce point aura un rôle de mouche qui lui ira très bien.

Ou bien elle voit la division du champ en deux plages de luminosité différente à condition que ces plages soient séparées par une arête suffisamment nette et se déplaçant elle-même.

En somme, la grenouille avec beaucoup d'instinct sait voir la mouche qui se déplace, bien qu'elle ne sache pas voir la mouche qui est posée à côté d'elle ; elle sait voir l'ombre de l'aile de l'oiseau carnassier qui approche ; à part ces deux choses qui semblent l'intéresser directement, elle ne voit rien.

Je me demande même comment, sans autre éducation, elle sait que l'une de ces choses est haïssable et l'autre aimable. Mais je ne veux pas faire de jugement de psychologie. Tandis que chez l'historien, lequel lui aussi ne voit que certaines choses, nous savons *a priori* pourquoi il voit, il décide le haïssable et l'aimable, il décide par préjugé.

Quel étonnement, quelle incrédulité n'ai-je vus, par exemple, chez ceux qui avaient lu les rapports de Marcel Griaule sur les civilisations de l'Ouest-Afrique ! cela c'est du préjugé, car il semblait étrange que ces nègres, absolument nègres, aient des idées aussi avancées cosmologiquement que le travail de l'équipe Griaule le révélait. Et que de sottises ne sommes-nous pas en train de répéter sur les pré-socratiques ! pour en faire des simplets, car il est entendu que ce qui est archaïque est simple et ces messieurs étaient archaïques ; or, c'est bien le contraire qui est vrai. L'esprit — M. Wiener vous le dira un jour — est une table totalement écrite, laquelle doit être peu à peu effacée, et le cas de la pensée archaïque est celui d'une pensée extrêmement complexe qui peu à peu se réduit à la pensée simple que nous possédons actuellement. Donc, c'est bien le contraire : il faudrait partir d'une complication. Mais nous ne pouvons lire les textes que d'une seule manière, un peu de la même façon que l'œil de la grenouille ne voit pas la mouche posée à côté de lui et qu'il faut qu'elle se déplace. Il faudrait en tout cas changer d'optique, et ceci est une des tâches les plus compliquées qui soient.

Historiquement nous avons subi une transformation de notre point de vue historique par rapport aux longs espaces de temps — je parle en grandes longueurs d'onde en ce moment — qui est due à notre insistance sur l'évolution.

Le cours hypothétique de l'Histoire sur les milliers d'années qui nous précèdent, a pris une allure nettement biologique et évolutionniste à partir de Darwin et sur ceci s'est enté le grand cyclone de Freud qui a nettoyé toutes les structures précédentes pour ne montrer que des vipères lubriques, de sombres personnages libidineux, des assassins rituels et autres histoires de cette espèce dans le passé.

Depuis deux générations nous n'avons jamais concédé à nos ancêtres d'autres titres que ceux d'une mentalité obscure, laquelle venait s'éclaircissant peu à peu dans l'esprit de l'anthropologue ou du psychologue.

Ceci est plutôt arbitraire et n'est pas productif du point de vue de l'historien (des derniers trois ou quatre mille ans du moins) puisqu'il remplace l'observation par l'*a priori ;* il a fallu en revenir peu à peu — et c'est encore très lent et progressif — à des pensées, à des idées qui sont basées sur un tout autre ordre de principes, par exemple celle qui fut lancée par Léo Frobenius il y a cinquante ans, — et développée plus tard par Heine-Geldern, par Baumann — l'idée que les cultures partent d'emblée d'un point assez élevé et qu'elles se

défont par la suite, de telle manière que ce que nous voyons n'est pas un progrès uniforme, mais au contraire une montée rapide suivie d'une déchéance lente et après cela une espèce d'entassement, d'amoncellement de restes de pensées qui deviennent ce que nous appelons la culture primitive, ou, si vous voulez, les représentations générales sur la fertilité et autres.

Nous avons eu des reprises dans ce sens et en Allemagne et en Angleterre, avec W. R. Rivers et James Perry ; nous en avons eu avec Marcel Griaule en France.

Mais le problème est justement celui-ci, que les techniques supérieures que la philologie a formées se sont mises en travers de ce chemin, ce qui est assez naturel.

Ces techniques sont celles qui consistent à étudier le problème verbal de la philologie philologiquement, c'est-à-dire avec toute la science que peuvent former les spécialistes du langage sans se soucier autrement du sens ; pour le sens, on va demander à l'anthropologie courante.

Le résultat est que nous avons maintenant des traducteurs spécialisés qui nous fournissent les textes anciens sous une forme qui est une combinaison de haute perfection philologique et d'interprétation vaguement anthropologique. Ceci est le phénomène naturel qui intervient chaque fois que les spécialités commencent à se distribuer leurs rôles entre elles.

Prenez par exemple des textes astronomiques : quand vous mettez cela aux mains d'un philologue, lequel a des idées anthropologiques par derrière la tête, vous voyez ce qui va se passer ; il va nous fournir des cauchemars à double texte, car tout ce que le texte lui dit lui est impénétrable ; c'est comme si on chargeait un traducteur de Simenon de traduire Archimède. Et il vous fournira au contraire du non-sens qu'il tentera naturellement de rendre « profond ».

Le texte est là, sous ses yeux, mais il lui manque les moyens de compréhension pour pouvoir s'en servir.

Je me souviens d'un grand banquier qui disait à son employé : je peux vous expliquer, mais je ne peux pas comprendre pour vous. C'est la situation présente du passé qui nous regarde.

Prenez par exemple cette masse de documents que sont les « textes des pyramides » égyptiens. Les traductions sont en cours ; elles transmuent ces choses en sombres couleurs psychologiques et en formes de délire onirique, alors que ce sont pour la plupart des indications astronomiques assez banales, mais que seuls des techniciens peuvent entendre.

Ayant été moi-même amené à m'occuper d'astronomie proto-historique, il m'est apparu assez tôt qu'il fallait prendre un autre chemin ; je suis parti de l'idée que l'intelligence de l'homme n'a pas énormément varié depuis dix mille ans et que par conséquent dans chaque époque il y a eu un certain nombre de très hautes intelligences qui ont tenté la construction du cosmos ou du monde à leur manière.

Mais leurs objets ne pouvaient pas être les nôtres ; dès le début ils ont pris ce que nous appelons encore aujourd'hui le cosmos au sérieux ; pour nous c'est un mot, pour eux, c'était une réalité très profonde, — je dirais, *la* réalité. Et de ce fait leur intelligence était braquée d'une manière entièrement différente de la nôtre, les objets qu'ils voyaient étaient différents, la manière de relier les objets était différente, et la structure intellectuelle qui en résultait ne pouvait pas être la même.

Pensez au problème des planètes. Les planètes étaient évidemment le sujet d'un ensemble de considérations qui a duré des milliers d'années, que nous ignorons totalement, et que nous préférons attribuer en général à la science grecque du IVe siècle.

Je vous donnerai un petit exemple simple. Il y a une certaine image que vous voyez partout sous forme vaguement allégorique : c'est le pentagramme, l'étoile à cinq pointes, qui est le symbole pythagoricien ; on disait que les pythagoriciens en faisaient le symbole de la tetractys ; et on se demandait pourquoi la tetractys qui est la source de toutes choses et qui est faite des quatre premiers nombres, devait être représentée par le cinquième nombre ; même Lucien de Samosate s'est amusé à ce sujet.

Or, personne ne s'est jamais soucié d'interpréter la question ni de se demander pourquoi ce pentagramme apparaît dans d'autres cultures aussi et se réfère d'une manière très nette à la planète Vénus.

Si vous prenez un aspect spécifique de la révolution synodique de Vénus, je veux dire que ce soit le lever héliaque ou que ce soit l'élongation maxima, ou l'un quelconque des aspects du cycle d'environ 522 jours qu'est sa révolution synodique si vous le placez sur le zodiaque, si vous attendez qu'il reparaisse vous aurez un nouvel emplacement sur le zodiaque et ainsi de suite ; le cycle de cinq années synodiques vous fournira d'un coup de façon éblouissante le pentagramme.

Encore faut-il garder ces questions présentes à l'esprit sur plusieurs années...

Ce cycle de cinq années correspond à huit années des nôtres, cinq synodiques correspondant à huit années sidérales terrestres.

C'est pourquoi nous voyons dans toute l'iconographie du Moyen-Orient la combinaison du nombre cinq et du nombre huit, du pentagramme et de l'octogone différemment entrelacés qui forment tous les sceaux babyloniens, sumériens, élamites, etc. ; nous devons à Willy Hartner d'avoir montré récemment que tous ces sceaux avaient une nature purement astronomique.

Voilà un sujet où Kepler aurait été heureux ; les modernes n'y avaient jamais pensé. Kepler avait lui-même donné le premier modèle de ce type de diagramme avec son fameux diagramme des grandes conjonctions de Saturne et de Jupiter qui est une espèce d'étoile à deux cents pointes ; mais c'est bien cet esprit-là qu'il aurait fallu et c'est bien cet esprit-là qu'on est en train de retrouver.

La chose la plus curieuse, c'est que maintenant, en faisant un peu d'ethnologie directe et sans psychologie, on va chercher et on trouve qu'il y a des peuplades même assez simples qui connaissent parfaitement cette histoire du pentagramme ; elles ne s'étaient jamais souciées de nous le dire parce que nous ne l'avions jamais demandé ; il y a aussi des peuplades également simples, ou même plus avancées qui n'en savent absolument rien.

Autrement dit, l'objet Ciel, posé devant l'esprit de l'homme n'a pas un aspect uniforme ; il y a des peuplades qu'on est allé étudier exprès, qui étaient dans des conditions absolument idéales pour observer le ciel, c'étaient des pâtres abyssins sur les hauts plateaux de l'Ethiopie où les étoiles sont éblouissantes ; ils ne comprenaient rien, ne voyaient rien, n'avaient jamais entendu parler des planètes ; par contre il y a des Indonésiens qui vivent dans la jungle, et qui vous diront : Vénus, c'est cela ? et ils vous esquissent les cinq pointes. Ils savent tout.

C'est un phénomène de transmission de haute culture. Et avant cela un phénomène de création de pensée à travers certains moments privilégiés de l'Histoire, lesquels se perpétuent d'une manière obscure, complexe, mais morphologiquement reconnaissable.

Religion, géométrie, mesure rigoureuse des temps, images mobiles de l'éternité ; je parle grec pour un instant ; tout ce complexe formel nous est devenu étranger et par conséquent les liens entre ces concepts sont devenus étrangers à notre pensée.

Il nous semble impossible que des gens dépourvus de moyens d'observation et qui faisaient si souvent de si mauvaises mesures aient pu détailler le parcours des planètes avec une telle exactitude ; c'est bien pourtant là la source de la philosophie antique ; je ne fais que citer Aristote sur ce point ; nous savons à présent ce qu'un Grec pourrait entendre par des mots tels que δεσμός et καιρός, par la monade, par ce point lumineux qui apparaît et se multiplie dans les lois de la géométrie.

Le pentagone des Pythagoriciens était absolument représentatif à ce sujet ; et nous nous rendons compte de l'énorme capacité de vision synoptique qu'avaient des intelligences autrement incultes et non formées à la pensée abstraite, mais douées d'une prodigieuse capacité non seulement d'observation mais, comme je l'ai dit, de rétention synoptique de l'observation.

Ce qui pour nous apparaît, quand nous nous donnons la peine de regarder, comme des points lumineux sur le ciel, était pour eux des *parcours* entiers, des *parcours* qu'ils avaient présents à l'esprit.

J'entends dire que le centre d'attention s'est déplacé, nous lisons du papier au lieu de lire dans les cieux, mais ce qui est grave c'est que ces choses que je suis en train de dire ont été complètement perdues de vue alors qu'au siècle dernier on les entendait encore — je parle de notre culture à nous.

Quand je pense à ce que nous racontent maintenant les livres, les textes autorisés sur la religion égyptienne ou babylonienne, et quand je regarde ce que les savants du siècle passé à partir de Bouché-Leclercq avaient commencé à déterrer et à montrer dans les textes qu'ils connaissaient encore assez mal, on peut voir la mesure de la déchéance ou de l'effritement de l'interprétation qui a eu lieu depuis.

Pensez que ce dernier siècle a été le siècle de gens comme Auguste Bœck, de Ideler, de Thimus, de Usener, de Lepsius, de Brugsch, de Lauth, de Schlegel, de Saussure ; ce sont des travaux énormes qui ont été accomplis depuis l'année 1810 jusqu'à 1890 ; ces choses sont déjà oubliées ; ou bien parce qu'une erreur ou une autre a été commise — et qui ne commet pas des erreurs — elles sont tournées en ridicule, et pourtant c'étaient de grands savants et des travailleurs qui ont fourni là un matériel énorme d'interprétations déjà faites ; mais ce n'est plus la mode !

Nous sommes passés, comme vous le savez, à l'époque de l'interprétation psychanalytique où il n'y a plus à se soucier que les choses aient un sens quelconque puisqu'elles expriment cette vaste réalité qu'est l'inconscient supérieur ; l'inverse pourrait être vrai, et il est étonnant de voir un personnage comme Charles-François Dupuis, l'homme qui écrivait en l'an III de la Révolution, qui a fait de l'interprétation astronomique et philologique supérieure à celle de Diels et de

Ideler, simplement parce qu'il avait une idée dans la tête.

Il n'est pas facile de vous dire en deux mots de quoi il pourrait s'agir puisque je suis en train d'effleurer un continent assez nouveau et sur lequel je n'ai pas encore ma carte, mais je sais que le changement d'optique peut donner un sens même à des choses qui n'en ont pas, je veux dire même les choses qu'on peut attribuer librement à la fantaisie mythopoiétique et sans peut-être pécher par exagération.

J'aimerais vous citer un mot de Dupuis, écrit avant la découverte de Champollion. Dupuis se trouvait devant ce matériel et il voulait tout de même en faire quelque chose ; Champollion n'avait pas paru ; il disait :

« Macrobe nous assure que les hiéroglyphes avaient un sens, et la connaissance que nous avons du génie égyptien, plus encore que le témoignage de Macrobe, nous est un sûr garant. De manière que j'aimerais mieux reconnaître que je n'ai pu en deviner le sens que de supposer qu'ils n'y en attachaient aucun... Les symboles tracés dans le Zodiaque se sont conservés pendant trop de siècles sans altération et se retrouvent chez trop de peuples avec les mêmes traits pour croire qu'ils fussent des signes arbitraires. »

Voilà bien un geste de foi ! ce geste de foi a été entièrement justifié par les savants du siècle dernier. C'est cette foi qui a été perdue, c'est l'œil qui ne voit plus.

Je pourrais tout de même donner quelques exemples de ce à quoi je pense : il s'agit d'une pensée qui se développe avant l'écriture ; c'est un problème un peu analogue à celui d'une pensée qui se développerait avant la parole ; il n'y a pas de pensée avant la parole, Descartes l'a dit et il avait raison.

Aussi, il est moins difficile d'imaginer une pensée avant l'écriture ; c'est simplement une pensée très vigoureuse, très cohérente, armée de mémoire, qui doit, d'une manière quelconque, se perpétuer, s'organiser sans l'aide du chiffre écrit. Par conséquent cela devient une pensée mythique au sens classique du mot, mais cette pensée mythique ne signifie pas ce que veut dire le mythe pour un peuple qui a du langage écrit, c'est-à-dire une fantaisie qui *se greffe* sur le discours ; mais c'est au contraire l'expression même de la pensée correcte, car il n'y a qu'une manière d'enchaîner des idées, dans un monde sans écriture, c'est de raconter une histoire. Et cette histoire peut être aussi complexe et aussi absurde que vous voulez, elle doit justement enchaîner des idées qui ont un rapport purement symbolique avec l'histoire.

Je voudrais vous parler d'un cas que je suis en train de poursuivre pour le moment, plutôt en vain : je n'ai pas la moindre idée de ce dont il s'agit, mais je sais qu'il y a quelque chose dont il s'agit. Il est un certain mythe qui a été le sujet d'innombrables mauvais statuaires, c'est le mythe de Marsyas. Toutes les villas de la Renaissance sont pleines de figurations d'Apollon écorchant Marsyas.

Marsyas avait défié Apollon à la flûte, ce dernier le battit dans le concours de flûte et eut le droit de le tuer, de l'écorcher et de suspendre sa peau. Après quoi il fut tellement peiné — chose que ne racontent pas les histoires courantes, mais qui est dans la mythologie officielle — de ce qu'il avait fait qu'il cassa sa lyre de dépit et qu'après cela, disent les mythologues, on dut inventer une nouvelle harmonie.

Cela a l'air un peu drôle, toute cette figuration, avec la peau suspendue à un arbre. On pourrait dire que c'est de la fantaisie mythopoiétique pure. Cependant, nous sommes allés chercher au Mexique et nous avons trouvé des histoires très analogues ; chez les Mayas, il y a la fameuse fête du dieu Chipétotec, le « grand écorché », dans laquelle le personnage qui doit incarner le dieu (il y a toujours la personnification du dieu sous la forme d'un individu choisi et entretenu au cours de l'année), doit jouer de la flûte tout le temps.

Le jour de la fête, on l'écorche, régulièrement, et les jeunes gens se revêtent de sa peau.

Voilà le motif de la flûte et de l'écorchage. L'avatar de ce Chipétotec, du dieu écorché, c'est ce grand Tęzcatlipoca lui-même dont la fête se célèbre à une autre saison ; cette fête est celle du dieu qui a entraîné la ruine de la cité de l'Age d'or en attirant les peuplades en dehors avec sa flûte, un peu comme le racontent les Allemands dans *le conte du joueur de flûte de Hamelin*.

Ce personnage aussi est sacrifié naturellement parce que — dit la légende — ce fut seulement après que le sacrifice eut lieu que Tezcatlipoca prit une autre forme et produisit le feu dans la Grande Ourse sous le nom de Miscouatl.

Voilà des phénomènes que je ne m'explique pas, je ne suis pas en train de vous expliquer pourquoi il doit y avoir écorchage, pourquoi la flûte, pourquoi la création du feu, mais ce sont des motifs très anciens ; il me vient à l'esprit maintenant deux vers d'Agrippa d'Aubigné :

Le jour où les esprits bienheureux,
Dans la voie de lait auront fait nouveaux feux.

C'est donc bien un thème qui surnage dans l'humanité ; c'est un chiffre, c'est une forme très claire et en même temps cryptique, ce que les Pythagoriciens appelaient le *griphos*,

mais il nous manque encore les données pour savoir de quoi il s'agit ; il n'y a que cela de sûr, c'est que c'est astronomique.

L'idée semble être celle que chaque âge de l'univers suppose la fin des mesures qui valaient dans le temps précédent, la lyre qui se casse, le peuple détruit et ensuite la création de nouvelles harmonies qui correspondent aux nouvelles mesures du nouvel univers de l'âge précessionnel suivant.

Chez les Egyptiens le terme technique était le même pour indiquer le ton central de la flûte, la mesure du poids, la mesure de longueur, et c'était toujours le terme de la déesse Maat, la petite plume signifiant « justesse » que vous voyez dans les inscriptions tombales. Ce qui est curieux, c'est que cela indique aussi la brique-unité et le temps fondamental. Il y a là des pensées extrêmement rigoureuses, métriques ou métrologiques, qui sont en train de percer et que nous avons recouvertes sous un entassement d'oubli.

Cet entassement d'oubli est très récent puisque ce que je viens de dire à propos de l'Egypte, Brugsch l'a écrit en propres termes et il fait des analyses très profondes sur les mesures égyptiennes, mais qui va chercher les analyses de Brugsch ? — je ne veux pas m'étendre sur ce point.

Il y a une autre source d'erreurs que l'oubli, dans ces choses, ou même que la psychologie, c'est la suffisance tout court.

Puisque je vous parlais du Mexique, permettez-moi de vous en donner un exemple. Il y a là un cycle de calendrier de 780 jours qui est bien connu. M. Eric Thompson, grand maître du calendrier mexicain, a décidé qu'il n'avait rien d'astronomique, parce que, dit-il, il n'est que la somme de trois périodes de 260 jours dont on peut prouver qu'elles correspondent à des choses terrestres. *Ergo*, dit-il, la preuve est faite. Voilà un étrange cas de tiers exclu. On a trouvé une raison suffisante, il ne nous en faut pas d'autre.

Mais nous ne sommes pas en logique contemporaine. Si A, pourquoi pas *aussi* B ? Il pourrait se faire que l'importance de A se démontre par la coïncidence de B, et même aussi et surtout de C. La pensée cosmologique est une pensée intégratrice à plusieurs niveaux. Et voilà que, justement, le professeur Ludendorff, l'astronome de Potsdam, frère du général, qui s'est signalé par ses profondes études sur l'astronomie mexicaine, a montré que le cycle de 780 jours est bien rattaché à Vénus. L'un des cycles renforce l'autre, j'ose donc insister sur ma remarque précédente.

Une explication n'est valable pour ainsi dire que si elle opère concurremment sur des niveaux différents ; c'est seulement à ce moment que la convergence de raisons sur différents niveaux vous crée l'idée du cosmos. Or, est-il possible qu'un historien n'ait pas le droit de s'occuper de l'idée du cosmos ? Est-il possible que cette énorme structure de l'esprit qui est pour ainsi dire le soubassement de notre pensée — laquelle est en train de se perdre sous l'entassement de l'oubli historique — que cette chose ne revienne pas en ce moment-ci au centre de la reconstruction, puisque c'est bien l'histoire de la pensée grecque que je suis en train de discuter sous prétexte de parler du Mexique.

Il est difficile de s'avancer sur un terrain semblable, je voudrais simplement le dire en un mot ; ce que nous cherchons en tant qu'historien de la pensée ancienne, ce n'est presque jamais le côté caténaire et linéaire d'une pensée de type cartésien ; c'est un syndrome, et ce n'est que sur le syndrome que se placent les points d'accentuation ou les points de soutien d'une pensée cosmologique.

Quand nous aurons ceci, nous pourrons aller de l'avant, mais pour le moment, que notre œil de grenouille s'ouvre un peu, car sinon nous ne verrons jamais les mouches qui sont à côté de nous.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Je remercie le conférencier de la communication si riche et si originale qu'il nous a faite et qui pour ma part m'a ouvert bien des horizons sur l'interprétation de la pensée prélogique dont je discutais hier avec mon ami Hyppolite.

M. BECK.

Je voudrais poser une question ; si je ne me trompe, vous avez pris comme hypothèse dans toutes vos recherches historiques celle que l'homme d'il y a deux mille, trois mille ou cinq mille ans est à peu près le même que l'homme actuel ? Est-ce exact ?

M. DE SANTILLANA.

Oui, je dirais même cinq mille ans, dix mille ou vingt mille ans.

M. BECK.

Dans le passé, l'homme est à peu près le même que maintenant. Tout de suite après vous avez parlé du progrès qui avait été fait dans les sciences ; vous avez prononcé les mots d'évolution et le nom de Darwin ; vous avez suggéré, si je ne me trompe, qu'il y a une évolution dans le monde, un fait qui est accepté maintenant ; y a-t-il eu une évolution de la pensée de l'homme, des sentiments de l'homme, de tout ce qu'on peut dire de la psychologie de l'homme ? Je n'ai pas compris si vous l'admettez ?

M. DE SANTILLANA.

Je n'en sais rien. Je soutiens que l'évolution de la pensée n'est pas un sujet traitable avec des catégories biologiques. Elle relève de l'histoire. Je pensais seulement au sujet qui me préoccupait ; je me citais à moi-même un mot de Ratzel qui disait, il y a bien longtemps : « les grandes idées ne viennent que très rarement et lorsqu'elles viennent elle s'accrochent d'une manière étrange. »

Nous avons une belle densité de grandes idées dans ce siècle, les quanta, la cybernétique, la relativité, cela fait déjà trois.

Faites la somme des grandes idées de notre culture et vous aurez, disons deux douzaines de grandes idées qui marquent notre ère scientifique.

Il y a eu une intensification dans le temps, mais cependant les grandes idées sont rares ; et si vous cherchez les grands mathématiciens, si vous cherchez les plus grands, il vous faut aller en arrière jusqu'à Archimède pour en décompter une douzaine ; il y a eu certainement des esprits semblables à Newton, ou Kepler, ou Archimède, en l'an 4000. Que pouvaient-ils faire ? Ils n'avaient pas encore les instruments pour construire un système mathématique, mais ils avaient bien les instruments pour construire un système intellectuel, et ce système ils devaient l'exprimer de la manière qui leur était possible.

Ce qui est frappant c'est de voir comment certaines idées importantes qui groupent des phénomènes et qui permettent l'observation de ces phénomènes, — remarquez quelle masse d'observations il a fallu — sont des lignes de développement qui partent de points inconnus mais ne sont pour ainsi dire que des faisceaux de pensées, d'idées centrales créatrices qui laissent de côté d'autres zones de l'humanité.

Enfin, je veux dire qu'il y a une espèce de ligne qui part d'un point, un peu comme la vie dans la théorie actuelle de l'origine de la vie ; il y a un point anti-entropie dans lequel la vie se crée, et cela crée un cône dans le temps où la vie s'affirme contre l'entropie ; il en est un peu de même dans l'Histoire, il y a eu des cônes d'origine d'où partent des faisceaux de pensées qui peuvent être oubliées, déformées mais dont la structure fondamentale se conserve. Comme s'est conservée la vie contre la probabilité, dans l'univers.

M. BECK.

Ce n'est pas exactement la question que je voulais vous poser ; je voulais vous poser votre problème à vous, comme

historien, c'est-à-dire que vous êtes vous-même une étape de l'évolution de la pensée humaine ; vous formulez l'hypothèse que votre pensée est la même que celle d'un Egyptien d'il y a dix mille ans. Cette hypothèse, comment pouvez-vous l'accepter en vous disant : je ne fausse rien en attribuant à l'homme d'il y a dix mille ans ce que je pense aujourd'hui, alors que je suis moi-même, que vous êtes vous-même le produit de l'évolution ?

Comment résolvez-vous ce problème d'information du présent sur le passé et du passé sur le présent ? Voilà le problème de l'historien.

M. DE SANTILLANA.

Je tente de ne pas raisonner comme nous autres, et sur des sujets différents, mais M. Wiener vous dirait qu'on ne peut pas sortir de sa propre peau. L'évolution biologique compte aussi, mais sur une autre échelle de temps.

M. BECK.

Mais vous êtes obligé de le faire, c'est votre métier de le faire.

M. LE PRESIDENT.

En entendant M. de Santillana nous dire que la pensée de l'homme d'il y a des milliers d'années était la même que celle d'aujourd'hui...

M. DE SANTILLANA.

En capacité...

M. LE PRESIDENT.

Je pensais au livre de Lévi-Strauss sur *La Pensée sauvage*, livre fort intéressant car ce n'est pas un livre abstrait, c'est un livre qui manie des abstractions, mais un livre à base d'études concrètes, d'observations de peuples : il aboutit à cette conclusion, qui me semble rejoindre celle de M. de

Santillana, que ce qu'on nous a dit pendant longtemps sur la mentalité prélogique, c'est-à-dire cette idée qu'il y avait une espèce de cassure entre la façon de penser intellectuelle des peuples primitifs et la nôtre, ne paraissait pas vérifié, et que, parlant de la pensée des primitifs, il entendait plutôt une pensée paysanne, c'est-à-dire...

M. DE SANTILLANA.

Cela me semble bien juste.

M. HYPPOLITE.

... Une pensée de bricoleur...

M. LE PRESIDENT.

Une intelligence qui n'est pas d'une structure différente de la nôtre, mais qui a affaire à un univers différent du nôtre, univers qui n'est pas du tout élaboré par les concepts scientifiques qui sont les nôtres... Il appelle cela une pensée paysanne ; entre la pensée paysanne et la pensée scientifique il y a un abîme mais ce n'est pas un abîme de structure intellectuelle.

Avez-vous lu, Monsieur de Santillana, l'ouvrage de M. Lévi-Strauss sur *La Pensée sauvage* ?

M. DE SANTILLANA.

Pas encore, je connais un peu la pensée de Lévi-Strauss, et je l'admire. Mais permettez-moi un doute sur le terme « paysanne ». Je voudrais aller plus en arrière ; je pense qu'il y a eu deux grands malheurs dans l'Histoire : le premier c'est lorsque l'homme s'est mis à cultiver la terre, l'autre, c'est quand il a inventé l'écriture. (Pardonnez-moi la boutade, j'espère que cela ne va pas être mis noir sur blanc.)

Evidemment, il y a un moment de fixation de l'esprit lorsque l'homme cultive la terre. Ces grandes idées cosmologiques semblent fleurir surtout dans une atmosphère de nomades et de navigateurs ; par exemple, le cheminement de la pensée polynésienne est absolument fantastique ; nous le gar-

dons presqu'intact du fait même que ces gens n'ont pas eu l'écriture mais qu'ils avaient encore la mémoire du barde, uniquement verbale, jusqu'au moment où les premiers missionnaires sont arrivés pour ramasser les derniers de ces messages ; nous avons donc eu une transmission uniquement orale ; c'est une transmission fantastique comme connaissances astronomiques ; je ne dirai donc pas que c'est paysan, je dirai que c'est pré-paysan.

Deuxièmement, le paysan semble toujours tendre vers le côté passif et sombre, c'est lui qui fait les sacrifices humains, c'est lui qui s'occupe d'enterrer les gens vivants ; c'est lui qui organise les cérémonies de la fertilité sur lesquelles ont bâti tous nos grands anthropologues ; c'est essentiellement une culture paysanne.

Mais à part ceci, je vous prie de remarquer qu'à partir du moment où l'écriture a été inventée, — c'est-à-dire, d'après un chiffre qu'on m'a donné, en 3990 A. C., date de la première fouille de Suse I —, à partir du moment où l'écriture est inventée, c'est qu'il y a une classe de gens qui peuvent fixer, conserver les données pour en faire des centres de pouvoir ; l'écriture s'invente essentiellement pour la comptabilité, si j'ose dire ; cette comptabilité crée des administrateurs et avec les administrateurs viennent les ministres et tout est fini.

Il se crée des centres de possession, c'est-à-dire les grandes administrations des temples ; c'est le moment même où les gens commencent à inventer les Ziggurat, structures parfaitement artificielles, avec la maison du dieu au sommet qui représente le pouvoir central. Vous avez un pouvoir central qui commence à détenir la science, pour des raisons parfaitement compréhensibles d'ailleurs, qui a des possibilités financières, des possibilités constructives ; à partir de ce moment cessent les idées créatrices, commencent les idées intégratrices ; si vous voulez, j'oserais dire qu'à partir du moment où l'on crée l'écriture, commence l'administration et cesse la pensée ; c'est triste à dire, mais il est assez vrai que l'Ancien Règne égyptien contient déjà presque tout, et que les Egyptiens des 23 dynasties successives n'ont presque rien fait par rapport à cela. Ils avaient pourtant de quoi, il y avait là une caste de gens sérieux.

M. HYPPOLITE.

Au moment où M. Guéroult a évoqué Lévi-Strauss et *La Pensée sauvage*, la même évocation m'est venue à l'esprit ; et je pense que cette rencontre n'était pas le résultat du hasard. Je pense aussi, et je demanderai à M. de Santillana si, en fin de compte, la pensée qui précède cette administration et ces savants organisés n'est pas ce qu'on pourrait appeler une pensée totalisante, non pas d'intégration, mais totalisante, intuitivement totalisante et renfermant en elle une multiplicité virtuelle d'interprétations possibles.

C'est bien cela, vous avez dit : « une multiplicité virtuelle d'interprétations possibles qui seront ensuite détotalisées ». Nous n'apercevrons plus les choses qu'à travers l'une de ces perspectives.

M. DE SANTILLANA.

Je pense que oui. Merci.

M. HYPPOLITE.

Une des formes de ce qu'on appelle l'existentialisme, c'est ce que dit Lévi-Strauss, c'est d'être au fond une pensée totalisante, même si dans notre monde actuel la pensée est fatalement détotalisée.

M. DE SANTILLANA.

Excellente expression, je vous remercie, c'est bien « totalisante »...

M. HYPPOLITE.

Et c'est bien le mot qu'emploie Lévi-Strauss.

M. LWOFF.

M. de Santillana nous a expliqué qu'il y avait une relation entre l'écriture et la création de grandes civilisations hiérarchisées ; cependant il y a un très bel exemple, je crois, d'une civilisation très développée, très hiérarchisée sans écriture, c'est la civilisation Inca.

M. DE SANTILLANA.

Je sais bien, je pense simplement que l'écriture semble naître dans un monde de civilisation hiérarchisée ; il y a aussi de la pictographie élémentaire ; mais il semble bien que ces deux phases, en général, correspondent l'une à l'autre.

Rien n'est clair dans tout cela : les Incas avaient leurs dieux ; ce n'est pas grand-chose ; d'ailleurs nous n'avons aucune idée de ce qui s'est passé comme transmission, il y a le côté Maya et le côté Inca qui sont tellement différents comme niveau de transmission qu'on se demande ce que cela signifie. Cela ne s'est jamais produit en Orient.

M. JUTIER.

Je ferai deux remarques ; il y a deux évolutions : l'une sur une cinquantaine d'années, l'autre sur plusieurs milliers d'années ; je me suis demandé pourquoi on abandonnait toutes ces choses très riches qui avaient été faites au XIXe siècle ; il y aurait peut-être une explication dans la traumatisation des gens s'occupant d'études de type littéraire par le développement scientifique.

J'ai été très frappé, au cours d'un précédent colloque, ici, par une certaine tendance : les littéraires disaient : nous faisons de la science, nous expliquons des textes, si nous n'atteignons pas la Vérité — avec un très grand V — c'est que nous manquons d'informations, nous nous informons mutuellement, nous recherchons la vérité, nous trouvons la vérité, alors que les gens engagés dans la science ont à l'égard notamment du problème de la vérité, une attitude beaucoup plus souple. Il semble qu'il y ait un décalage.

Les littéraires ont été traumatisés par les scientifiques, ils ont couru après la science, ils ont essayé de constituer la science, ils se sont jetés dans la première discipline qui passait, c'est-à-dire le freudisme, et tout le reste s'est évanoui. Et actuellement, ce sont justement les scientifiques (qui, eux, sont forcés par la multiplicité même de leur science, par les brisures que cela leur cause, par la nécessité de se refaire une unité), qui sont les mieux prêts à réviser toutes ces notions de pensée discursive, purement cartésienne, à les repenser en couches ; la notion de syndrome que vous avez soulignée m'a paru extrêmement intéressante ; nous débouchons déjà dans une pensée future qui ne sera plus discursive du tout ; j'ai défendu une thèse extrême il y a une huitaine de jours, en disant : il faut abolir le langage.

Là-dessus je débouche dans l'évolution en grand ; vous avez parlé de navigateurs ; or, sur le plan des idées nous sommes déjà dans une ère de très grande navigation parce que le temps n'est pas linéaire, nous vivons déjà l'aventure spatiale ; cela va donner une très grande révolution. On la sent déjà.

M. DE SANTILLANA.

Nous la vivons encore très mal.

M. JUTIER.

Nous commençons à la vivre ; je la vis depuis l'âge de sept ans à peu près, parce que Esnault Pelterie a décrit l'essentiel, la base de l'aventure spatiale, en 1930 peut-être. Il y a toute une classe de gens qui ont été élevés dans le goût de l'aventure de la science ; l'opposition qui se manifestait était l'opposition entre le littéraire qui se veut scientifique et l'homme de science qui se veut un poète.

M. DE SANTILLANA.

En effet, il y a un mythe scientifique que les littéraires ont adopté.

M. LE PRESIDENT.

Il n'y a pas de doute que je n'ai jamais autant entendu parler de sciences qu'à la Faculté de lettres ; cela ne donne d'ailleurs pas de bons résultats, mais on n'a que ce nom-là à la bouche. La notion de science humaine, d'ailleurs, est là.

La science humaine est une science dans la mesure où elle n'est pas humaine, et humaine dans la mesure où elle n'est pas science, c'est une définition qui pourrait dans une certaine mesure s'accepter.

M. DE SANTILLANA.

Je retiens votre mot qui est excellent ; c'est le drame de ce monde intellectuel traumatisé par la présence de la science, il embrasse telle science dont il pense qu'elle l'aidera.

M. MOLES.

J'aurais voulu revenir sur une image que vous avez donnée au début de votre exposé en parlant de l'œil de grenouille, par exemple, auquel vous compariez un peu l'œil de l'historien. Il y a un exemple intéressant, c'est celui des yeux à facettes des insectes que nous pouvons reproduire par des combinaisons de multiples lentilles, par exemple dans le cinéma ralenti. Dans ces conditions-là on constate que la définition de chaque lentille devient très sommaire pour des raisons tout à fait techniques, et finalement, quand on regarde une image globale qui a été faite par des appareils de ce genre, reproduisant la vision des insectes, *on voit les mouvements, on ne voit plus les objets.*

Je crois que ce point est très intéressant. On voit le mouvement parce qu'il y a une multiplication de stimuli en $\frac{dx}{dt}$, avec une destruction de la forme, c'est-à-dire des x, y, z de l'extension spatiale.

Je crois que cette idée peut se relier avec celle qu'exprime M. Jutier de destruction du système de catégories linéaires, du système de catégorie du vrai et du faux dont nous parlions, pour le remplacer. Ceci est une des évolutions générales de la science actuelle ; la science actuelle s'intéresse beaucoup moins aux valeurs *vrai* et *faux* qu'elle ne s'y intéressait au XIXe siècle. Maintenant nous nous intéressons beaucoup plus à la catégorie du *possible* et de l'*impossible*, comme catégorie devant être subversive par rapport à la catégorie du vrai et du faux.

M. DE SANTILLANA.

Je crois que nous sommes d'accord.

M. RICHARD.

Avez-vous voulu dire que l'interprétation psychanalytique, qui est une utilisation de concepts psychanalytiques pour rendre compte de certains aspects de la vie primitive, constitue une attitude de réduction ? Il me semble que c'est une interprétation, une interprétation étant toujours une réduction : c'est évident, puisqu'elle est l'application d'un point de vue forcément partiel, mais il semble toutefois que cette réduction a été en même temps un élargissement puisqu'elle

a permis de rapprocher certains aspects de la pensée mythique de certains aspects de la pensée onirique en particulier ; elle a apporté un élargissement du point de vue. Elle a conduit à rapprocher la pensée logique qui est la nôtre de la pensée primitive et a comblé un peu le fossé qui jusque-là avait semblé séparer les deux types de pensée, la pensée logique et la pensée archaïque.

M. DE SANTILLANA.

Il n'y a aucun doute qu'il y a un nouveau secteur d'interprétation qui doit avoir ses raisons ; quelquefois la pensée onirique doit pouvoir aider ; puisque Tirésias lui-même se servait de la pensée onirique, nous avons le droit de nous en servir aussi. C'est un personnage historique.

Mais je vais vous donner un exemple de ce que je veux dire par la petite histoire d'écorché que je vous ai racontée ; voilà une histoire assez compliquée ; un illustre mexicaniste, Conrad-Theodor Preuss a écrit un livre sur les rites mexicains ; il dit : évidemment cette histoire d'écorchage correspond à une idée sous-jacente d'excès sexuel ; avec cela il a tout réglé, c'est fini ; il oublie de penser s'il y a une structure quelconque dans le discours, et je lui demande quelle espèce de sous-jacence d'excès sexuel il y a dans des histoires comme cela ; il ne montre que sa pensée onirique à lui, si j'ose dire.

M. RICHARD.

Ce que je veux dire c'est que je ne pense pas que l'interprétation à partir des concepts psychanalytiques soit la seule ; c'est une interprétation ; je me demande s'il y a d'autres possibilités de compréhension que par une multiplicité de points de vue sur les symboles.

M. DE SANTILLANA.

Naturellement il s'agit simplement d'un nouveau facteur introduit qui doit valoir pour quelques secteurs ; mais vous avez toujours une espèce de recouverture totale par la pensée de toute l'interprétation des mythes de Tirésias. C'est une psychanalysation de tout qui d'ailleurs reconstruit mal les

faits. J'aime beaucoup mieux Lévy-Bruhl, c'est mieux que de vous expliquer continuellement la pensée onirique en tout.

M. VERMEERSCH.

Je ne sais pas si j'ai raison, mais j'ai l'impression que votre manière de parler est un peu trop générale ; quand on parle de sens ou de connaissance du cosmos, cela est trop général, car il faudrait se concentrer surtout sur les questions que les gens posent. L'histoire de la science est surtout une histoire des questions.

L'idée de redondance a un certain sens ; par exemple Aristote ne se demande jamais pourquoi un objet qui se meut ne continue plus à se mouvoir ; tandis qu'il se demande pourquoi quand on jette une pierre, cette pierre continue à se mouvoir : il a donc une manière de poser la redondance de la réalité dans le sens d'une motion perpétuelle.

Il faut concentrer plutôt l'attention sur la question qu'on se pose ; il y a ce qu'on pourrait appeler la redondance qu'on a : par exemple, un enfant trouve normal qu'une pierre tombe à terre, il ne se pose pas la question ; et les anciens non plus ; donc cela n'entre pas dans leur science, même pas dans leur mythologie ; mais si l'on savait quelles sont vraiment les questions des anciens et des primitifs, je pense qu'on aurait plus l'idée de ce qu'ils veulent vraiment dire.

M. DE SANTILLANA.

Vous avez parfaitement raison, je vous ai dit que je racontais des histoires très générales sur un sujet très inconnu ; je n'oserais jamais faire de l'histoire des sciences de ce niveau-là ; mais on peut dégager de là certains caractères ; par exemple, vous donnez le cas d'Aristote et du manque d'inertie chez Aristote ; voilà où la science technique intervient déjà ; je dirais à propos d'Aristote : c'est une pensée qui n'est plus totalisante.

Déjà, on peut se poser à propos de lui des questions spécifiques, lui ne se les pose pas ; pour lui, toute chose va simplement à son lieu ; mais on peut se les poser car il donne une réponse qui est falsifiable, comme on dit, comme disent nos amis logiciens, et par conséquent vous avez déjà une structure progressive de la pensée, cette structure progressive n'est pas totalisante et la pensée totalisante tendrait

dans un autre sens, par exemple : quel est le rôle de l'homme dans cette histoire que je vous racontais ? — quelle est mon interprétation dans cette histoire ? — elle est nulle ; je n'existe pas pour ainsi dire : on remarque après un temps, lorsqu'on regarde ces systèmes préhistoriques dont j'ai parlé, que l'homme, comme personnage, n'existe pas et que ce qu'ils appellent le « monde habité », c'est le ciel. N'est-ce pas singulier ? C'est une manière comme une autre d'ignorer les problèmes que peut poser l'homme. Il n'y a, qu'un seul groupe de vrais habitants : ce sont les planètes.

Nous avons toujours une pensée qui tend à se renfermer dans la globalité, dans la totalisation, pour laquelle tout est un organisme.

Et cet organisme perd conscience de celui qui le regarde, complètement ; cet organisme n'a pas de regard intérieur qui le regarde, si j'ose dire, c'est une structure de fatalité.

M. COUFFIGNAL.

A plusieurs reprises, vous avez parlé d'une douzaine de faits importants, d'une douzaine de grands mathématiciens, d'une douzaine de grandes idées qu'avaient les Anciens ; je voudrais vous demander si c'est une forme de langage ou bien si vous avez une raison particulière de fixer aux environs de douze ces idées-là. Voilà pourquoi : il y a un travail qui a été fait par M. Belin-Milleron il y a quelque vingt-cinq ans, et dans lequel il a essayé de faire une sorte d'expérimentation logique, en cherchant quels étaient les raisonnements, et la structure de la logique, effectivement utilisés dans la pensée courante ou presque courante ; il a pour cela exploré 3 000 textes de penseurs de la période de la Révolution française. M. Belin-Milleron était philosophe, psychologue, et il a voulu, en choisissant ces textes, d'une part, éviter autant qu'il le pouvait des *a priori*, d'autre part s'adresser à une forme de pensée qui lui était suffisamment familière ; il a donc exploré ces 3 000 textes, ce qui est une grosse masse de documentation, de la façon suivante :

Il a cherché quels étaient les concepts que les penseurs de cette époque avaient liés logiquement les uns aux autres ; c'est une époque où l'on parlait beaucoup de raison, où l'on se voulait très cartésien.

Et il est arrivé au résultat suivant qui est très surprenant, et qui l'a bien surpris lui-même, c'est qu'il y a treize concepts dont la fréquence est beaucoup plus grande que celle des autres, ce sont les concepts d'ordre, patrie, liberté, raison,

ordre social, etc. Les raisonnements d'une certaine longueur dans les discours de cette époque, les écrits de cette époque, passent toujours par l'un ou quelques-uns de ces treize concepts ; il y a donc une sorte de noyau, si l'on peut dire, de la pensée, à cette époque, par lequel passent tous les raisonnements.

Il est même arrivé à un résultat assez curieux, c'est qu'en cheminant par cette voie, on arrive, à partir de mêmes hypothèses, à des conclusions absolument contradictoires. Ceci est un effet qu'il a constaté au moins une bonne vingtaine de fois et qui est assez remarquable.

Cette allusion à une douzaine d'idées directrices ou d'idées fondamentales dont vous avez parlé à plusieurs reprises s'est liée dans ma pensée, à ce nombre de 13 découvert dans une exploration systématique de type statistique, assez poussée ; et je voudrais vous demander si vous aviez des raisons particulières de vous attacher à ce nombre.

M. DE SANTILLANA.

Si j'avais parlé anglais... j'aurais dit « a baker dozen », qui correspond justement à 13... On peut dire douze, comme vous l'imaginez bien, symboliquement, pour indiquer un nombre très limité de départs importants de la pensée.

M. COUFFIGNAL.

Le nombre 12 est très voisin de 13 qui est un nombre cabalistique.

M. SEBAG.

Vous avez essayé de montrer qu'on devrait admettre, à partir du moment où l'humanité est constituée, une identité fondamentale de l'esprit humain ; et vous l'avez présenté comme une thèse générale. Mais je crois que, de plus en plus aujourd'hui, si l'on prend l'interprétation des religions ou des mythologies archaïques, c'est à ces thèses qu'on a été amené, pour des raisons non seulement philosophiques, mais aussi pour des raisons pré-opératoires. Au fond, devant les mythes, pour prendre un exemple très limité, il y avait trois possibilités.

La voie qui a été développée au maximum par Lévy-Bruhl consistait à en faire le produit d'une mentalité prélogique, c'est-à-dire en réalité la marque d'une prédominance de l'affectivité sur l'intellect ; si l'on voit ce que Lévy-Bruhl entend par prélogique, il est certain que c'est l'ignorance du principe de contradiction, et que celle-ci renvoie directement à la possibilité qu'a l'affectivité de faire fusionner des éléments qui, pour l'intellect, sont profondément distincts.

Cette thèse aboutissait en réalité à rendre inopérante toute possibilité d'interprétation de ces mythes ; or, on s'est orienté dans une voie d'interprétation sociologique que déjà Durkheim avait esquissée, à savoir de dire que ces mythes avaient une signification, c'est-à-dire répondaient à des besoins ou à des problèmes que se posaient les sociétés et donc renvoyaient à un travail de l'intellect ; de plus en plus, les anthropologues ont cherché à mettre à jour les significations de ces mythes qui sont des significations d'ordre pluridimensionnel.

La seconde voie, qui était ce que j'appellerais la voie que Jung a esquissée de la manière la plus nette, consistait non pas à renvoyer à l'affectivité, mais peut-être à renvoyer à l'intellect, à admettre que l'humanité se divise au fond en plusieurs âmes, c'est-à-dire à admettre non pas un intellect qui soit une forme logique mais une psyché qui ait une structure qualitative.

Même si l'on prend Spengler, par exemple, l'idée spenglérienne est qu'il y a des âmes, des cultures et qu'à la limite on ne comprend même pas pourquoi nous pouvons, nous, interpréter les messages d'autres cultures ; à ce moment-là la différence ne viendrait pas, à l'intérieur de l'humanité, des formes d'esprit, mais beaucoup plus du contenu même qui serait différent d'âme à âme.

Or, là encore, cette deuxième voie, qui a été défendue de différentes manières, a été aussi abandonnée, ce qui fait qu'opératoirement nous sommes de plus en plus obligés d'admettre, dans la mesure où nous comprenons les autres messages, qu'ils renvoient à un esprit, dont la structure logique est telle qu'elle nous est relativement perméable, c'est-à-dire qu'il y a une identité très nette, et que ce qui varie ce sont les objets et les projets et non pas la forme même de l'esprit.

M. DE SANTILLANA.

Vous avez raison. N'empêche que Spengler a apporté, à un certain moment, une nouvelle dimension de l'intelligence. Mais il faut se retrouver dans la rationalité.

A présent, vous citez l'inconscient collectif. Heuristiquement du moins, c'est certainement une mauvaise forme de pensée ; cela peut être une forme satisfaisante, totalisante, mais, pour qui veut tenter de découvrir le problème de l'inconscient collectif, le problème est résolu avant qu'il soit posé. Ce n'est pas une belle méthode de découverte. J'aimerais mieux la voir employer lorsqu'on ne comprend rien, alors on pourrait parler d'inconscient collectif ; c'est une excellente manière de tout comprendre.

M. LE PRESIDENT.

En ne comprenant rien.

M. HYPPOLITE.

Permettez-moi de prendre un exemple, je viens de traduire une lettre de Husserl à son collègue Lévy-Bruhl ; c'est une lettre admirable, écrite au début de l'hitlérisme, et où Husserl dit à peu près ceci : « Mon cher et vénéré collègue, j'ai recommencé quinze fois une lettre pour vous dire à quel point vos ouvrages sur la mentalité primitive m'ont passionné ; malheureusement des événements tout à fait extérieurs dont mon fils, qui fait du droit comme le vôtre, a été victime, ont retardé la lettre que je voulais vous écrire. » Et dans cette lettre, où nous voyons d'ailleurs ce qu'un grand philosophe peut ressentir de l'extériorité contingente d'événements aussi graves que l'hitlérisme, Husserl ne parle pas à Lévy-Bruhl de Lévy-Bruhl, mais parle à Lévy-Bruhl de lui-même, de la réduction phénoménologique ; et il lui dit : Ce qui m'a passionné dans vos ouvrages c'est de savoir comment mon propre moi est capable d'étendre sa compréhension à d'autres messages — je fais allusion à ce que vous venez de dire — à d'autres messages que celui de la pensée contemporaine, de la pensée de l'adulte et du civilisé que je suis ; et je m'aperçois qu'à travers des variations possibles d'expériences, je peux réussir à étendre ma compréhension à ces messages eux-mêmes. J'ai l'impression qu'Husserl, ici, nous donnait le modèle de ce que peut être un effort de l'esprit humain pour appréhender par des variations de son propre moi d'autres formes de pensée et d'autres messages que le sien propre.

Ce qu'il y a d'intéressant dans cette lettre, c'est que cette réponse à Lévy-Bruhl a peut-être pu étonner Lévy-Bruhl puisqu'il y avait là 10 ou 20 pages où Husserl sous prétexte de féliciter Lévy-Bruhl de son ouvrage racontait sa propre histoire ou parlait de sa propre façon de faire de la philosophie. Mais cette façon de faire de la philosophie consistait non pas à refuser une autre forme de pensée que la sienne, mais à étendre par variations sa propre pensée jusqu'à celle de l'autre pour l'appréhender.

Je crois bien que c'est à peu près le sens de ce que vous disiez tout à l'heure, sur le fait qu'il y a une diversité de messages, mais il y a la possibilité pour l'esprit humain de s'amplifier jusqu'au point, par variations, de recevoir ces messages, de les appréhender comme tels.

Je pense que nous sommes bien d'accord sur cette capacité de l'esprit humain.

M. DE SANTILLANA.

Il y a une extension rationnelle de l'esprit, et pas seulement une extension purement intuitive.

M. HYPPOLITE.

Une possibilité de s'amplifier...

M. DE SANTILLANA.

La compréhension même du geste d'extension que je fais est rationnelle dans le moment où je le fais.

M. HYPPOLITE.

De telle sorte que nous n'avons plus le droit de dire comme Lévy-Bruhl : il y a une mentalité prélogique ou une pensée sauvage — qui n'est pas la pensée des sauvages —, et puis il y a notre pensée.

Nous devons penser que ces pensées coexistent, en nous, aujourd'hui aussi, que nous pouvons les retrouver...

M. DE SANTILLANA.

Oui, manifestement elles coexistent d'une manière assez profonde, parce qu'elles sont fondées sur un complexe historique, très vivant.

Je crois qu'il n'y a pas de possibilité que l'homme ou-

blie la pensée cosmologique, réellement, parce que le cosmos a chu.

A partir de Descartes, il n'y a plus de cosmos, c'est fini. C'est vraiment la mort du cosmos, mais pas assommé comme un bœuf ; cela existe de plusieurs manières ; certainement la manière de penser spatiale est anti-cosmologique...

M. LE PRESIDENT.

On a reproché à Descartes de ne pas avoir fait suffisamment mourir le cosmos, le reproche que lui font les hommes de science est d'avoir trop conservé le cosmos.

M. DE SANTILLANA.

A Galilée aussi.

M. JUTIER.

La pensée spatiale n'est pas anti-cosmologique, elle tend à remplir totalement le cosmos ancien pour permettre d'aborder le cosmos à un niveau supérieur.

M. DE SANTILLANA.

Opérationnellement c'est ce qu'elle fait, mais cela ne nous donne pas un sentiment cosmologique, c'est assez curieux ; nous opérons par découpage et par pointillé.

M. JUTIER.

Derrière cette aventure spatiale, nous sommes en train de reconquérir un sens du cosmos.

M. DE SANTILLANA.

Qui en serait un autre...

M. RIGUET.

N'est-ce pas justement avec Descartes qu'il faut saluer l'apparition de la première pensée vraiment scientifique ; est-ce que ce n'est pas au moment où l'humanité oublie de penser d'une manière totalitaire qu'on peut considérer que la méthode scientifique mérite vraiment ce nom ?

M. JUTIER.

Mais nous sommes en train de dépasser Descartes ; nous sommes en pleine réaction contre Descartes ; il faut le dire.

M. RIGUET.

Ne faut-il pas souligner qu'il y avait un oubli nécessaire ?

M. JUTIER.

Historiquement nécessaire, mais il faut dépasser le stade de cet oubli.

M. MOLES.

J'aurais voulu revenir sur une affirmation ; j'ai cru comprendre que vous disiez : On peut supposer, comme hypothèse de travail, que la densité des grands esprits, au cours du temps, est constante.

M. DE SANTILLANA.

Oui, il faudrait penser par rapport à la population, à toutes sortes de choses que nous ignorons...

M. MOLES.

Je vous pose la question... D'autre part dans cette question de l'inventaire des grandes idées dans la culture qu'évoquait M. Couffignal, il y a un problème qui me préoccupe un peu au sujet des concepts-carrefours de Belin-Milleron.

Cette analyse du contenu qui a été faite révèle effectivement un certain nombre d'idées-force ; à partir du moment où ces idées-force sont statistiquement très fréquemment pré-

sentes, elles sont présentes dans le répertoire justement comme des éléments banaux, c'est-à-dire que finalement c'est la courbe de Zipf ; elles ont beaucoup moins de valeur informative ; d'où il résulte un jeu, et dans ce jeu, l'historien est pris. Nous sommes bien d'accord.

Il y a alors une question ici et c'est celle que je pose :

Vous, historien, répertoriant certaines possibilités d'interprétation, dans quelle mesure telle interprétation nouvelle a-t-elle plus de valeur, du simple fait qu'elle est nouvelle, que telle interprétation rattachée à une structure qui est déjà passée et établie et donc banale, et qui n'est plus une structure qui s'effrite, tout simplement parce qu'elle recule dans l'Hintergrund ?

M. DE SANTILLANA.

Ce n'est pas une question simple, il y a une bande d'historiens des idées, que je connais, qui passent leur temps à tracer des lignes à travers le temps en montrant que cette idée a toujours été là et qu'un tel l'a ramassée d'un tel et ainsi de suite, de telle manière que cette idée n'a jamais de commencement ni de fin ; à ce moment-là elle est totalement banalisée, si j'ose dire.

D'autre part, il y en a d'autres qui pensent que cette idée peut reprendre valeur à tout instant, à travers le contexte, à travers la « Ergriffenheit » comme on dirait en allemand — ou disons la prise subite de conscience.

Je pense surtout à des idées qui se créent autour du complexe de représentation avant que d'être banalisées, par exemple, un personnage comme Anaximandre crée un complexe d'idées autour de lui qui prend au moins trois siècles à être banalisé. Cela crée la pensée pré-socratique, tandis qu'il y a pas mal d'idées platoniciennes qui sont tout aussi profondes et qui désormais ont un cours très dévalué — ce sont des sous du Pape — dans notre pensée actuelle parce que justement elles sont devenues banales. — C'est devenu un sujet d'agrégation.

M. LE PRESIDENT.

Il me reste à remercier M. de Santillana de l'amabilité, de la pertinence de ses réponses ainsi que tous les orateurs qui ont bien voulu lui poser des questions.

L'IMPORTANCE DU CONCEPT DE CONSCIENCE POSSIBLE POUR LA COMMUNICATION

M. Lucien GOLDMANN
Ecole Pratique de Hautes Etudes, Paris
Président : M. GUEROULT

M. GOLDMANN.

Je vais essayer de parler lentement, ce qui me sera d'autant plus facile que l'exposé sera court et cela pour deux raisons : la première est que j'ai dû remplacer au pied levé un participant absent ; la deuxième, que je me débats depuis une vingtaine d'années (je ne suis pas le seul d'ailleurs) avec le concept de conscience possible dont je vais vous parler. Jusqu'à présent, j'ai toujours envisagé ce concept d'un point de vue psychologique et sociologique ; mais il me paraît avoir aussi une très grande importance sur le plan de la communication et de la transmission des informations. Toutefois, comme je ne suis pas familiarisé avec les problèmes de la théorie de l'information et de la cybernétique, je ne parviendrai peut-être pas très facilement à vous présenter ce concept dans cette perspective ; je vais donc me contenter d'essayer d'analyser ce qui constitue, à mon avis, la découverte la plus féconde de Marx, et demeure, tout à la fois, le centre de la pensée marxiste contemporaine et un des principaux concepts opératoires pour l'étude de la société. Je souligne d'ailleurs que, même en psychologie, nous utilisons en dernière instance ce concept de conscience possible, d'une manière plus empirique que méthodique et que, si nous avons quelques idées qui nous permettent de nous orienter, nous sommes très loin de l'avoir précisé à un degré suffisant pour permettre un travail collectif où chacun connaîtrait exactement les règles à appliquer.

On m'a demandé, lorsque j'ai constitué un groupe de recherches de sociologie de la littérature à Bruxelles : quelle grille utilisez-vous ? Or, précisément, nous n'avons pas de grille, et c'est ce qui rend le travail très difficile.

J'ai traduit en français par « conscience possible » un terme familier de la littérature marxiste allemande, le *Zugerechte Bewusstsein*. Littéralement, cela peut se traduire par « conscience calculée », par le chercheur, le sociologue, l'économiste, par référence à tel ou tel groupe social.

Pour citer un exemple, c'est le concept auquel se référait Marx dans le célèbre passage de la Sainte Famille où il expliquait qu'il ne s'agit pas de savoir ce que pense tel ou tel prolétaire, ou même tous les prolétaires ensemble, mais quelle est la conscience de classe du prolétariat. C'est la grande distinction entre conscience *réelle* et conscience *possible*.

Il s'agit en somme du fait que, dans une conversation, ou, pour parler le langage que je suppose être celui du colloque, dans une transmission d'informations, il n'y a pas seulement un homme ou un appareil qui émet des informations, et un mécanisme qui les transmet, mais quelque part aussi, un être humain qui les reçoit.

Même si le chemin est très long et passe par le détour d'une chaîne d'appareils et de machines, en fin de compte, il y a toujours, au bout de la chaîne, un être humain, et nous savons que sa conscience ne peut pas « laisser passer » n'importe quoi n'importe comment.

Cette conscience réceptrice est opaque à toute une série d'informations qui ne passent pas, du fait même de sa structure tandis que d'autres informations passent et d'autres enfin passent mais d'une manière déformée.

Très souvent, en effet, celui qui regarde de l'extérieur et essaie de comparer ce qui a été émis à ce qui a été reçu, constate qu'une partie seulement de l'émission a été reçue, et que même cette partie a pris au niveau de la réception, une signification assez différente de celle qui avait été envoyée.

Il s'agit là d'un fait extrêmement important qui conduit notamment à remettre en question toute la sociologie contemporaine dans la mesure où elle est centrée davantage sur le concept de conscience *réelle* que sur celui de conscience *possible*.

Par ses méthodes descriptives, ses méthodes d'enquête, cette sociologie s'intéresse en effet seulement à ce que les gens pensent effectivement. Or — je cite souvent cet exemple — une enquête aussi précise que possible, utilisant des méthodes qu'on peut imaginer mille fois plus parfaites que celles

dont on dispose aujourd'hui, qui aurait porté sur les paysans russes en janvier 1917, aurait probablement constaté que la grande majorité d'entre eux étaient fidèles au Tzar et n'envisageaient même pas la possibilité d'un renversement de la monarchie en Russie, alors qu'à la fin de l'année, cette conscience réelle des paysans avait, sur ce point, radicalement changé.

Le problème est donc de savoir non pas ce qu'un groupe pense, mais quels sont les changements susceptibles de se produire dans sa conscience, sans qu'il y ait de modification dans la nature essentielle du groupe.

Les informations transmises aux paysans et reçues par eux, concernant la structure sociale de la Russie et les possibilités de la changer avaient en effet transformé en quelques mois la conscience de ces paysans. En même temps, cependant, pour des raisons que je vais analyser plus loin — ce n'est pas par hasard que j'ai pris cet exemple — les révolutionnaires russes avaient été amenés à modifier entièrement la position socialiste traditionnelle sur un point particulièrement important, et cela en partant de l'analyse du concept de possibilité de transmission de l'information.

Car toute cette pensée ou du moins tous les théoriciens qui avaient une certaine autorité dans le mouvement socialiste, étaient jusqu'alors d'accord sur le fait que le socialisme devait s'opposer à la propriété individuelle de la terre et préconiser la grande exploitation coopérative ou étatique.

Or, voici que Lénine, qui était un homme politique, mais qui, à ce moment et sur ce point, faisait œuvre de sociologue et même de théoricien de l'information, expliqua qu'on pouvait faire passer aux paysans un certain nombre de mots d'ordre socialistes mais en aucun cas leur faire comprendre les avantages de la grande exploitation et les convaincre qu'ils devaient renoncer à la propriété privée de la terre ; si fidèles qu'ils fussent au Tzar, on pouvait faire passer une série d'informations tendant à changer leur conscience, mais il y avait une information qu'il était impossible de leur faire assimiler : celle qu'il valait mieux travailler en coopérative que de posséder la terre à titre personnel.

Et, à l'indignation de nombreux socialistes, entre autres de Rosa Luxembourg, Lénine formula un nouveau mot d'ordre tout à fait inattendu : la terre aux paysans.

C'est un exemple classique d'analyse sociologique fondée sur le concept de conscience possible.

Il est en effet important pour celui qui veut intervenir dans la vie sociale, de savoir quelles sont, dans un état donné, dans une situation donnée, les informations que l'on peut

transmettre , celles qui passent en subissant des déformations plus ou moins importantes et celles qui ne peuvent pas passer.

Dans l'étude de ce problème, je vais vous proposer d'une manière assez empirique quatre paliers d'analyse qu'il me paraît important de ne pas confondre.

En premier lieu, il arrive très souvent qu'une information ne passe pas par manque d'information préalable ; si vous me présentez une formule mathématique particulièrement complexe, comme je ne suis pas mathématicien de profession, je ne comprendrai pas grand chose ; il faudra donc me fournir toute une série d'informations complémentaires pour que je puisse comprendre le message.

C'est le cas le moins intéressant pour le psychologue et le sociologue ; malheureusement, très souvent, certains chercheurs, notamment parmi les philosophes qui examinent les problèmes du dialogue (je pense par exemple à l'exposé de Calogero au Congrès International de Philosophie de Bruxelles) pensent que tous les malentendus viennent en premier lieu dans une telle information insuffisante et qu'il suffit d'être honnête et de fournir au partenaire tous les renseignements nécessaires pour que la réception s'effectue dans de bonnes conditions. En réalité, il y a des problèmes de réception qui se situent à d'autres niveaux et des difficultés de transmission qui ne tiennent pas à l'insuffisance des informations préalables.

Un deuxième palier, déjà plus important, bien qu'il ne soit pas encore proprement sociologique, est celui de la structure psychique de l'individu.

Freud a mis en lumière l'existence dans la psychologie de chaque homme de toute une série d'éléments structuraux de désirs et de répugnances, résultant de sa biographie qui font que son moi conscient devient imperméable à certaines informations et attribue un sens déformé à certaines autres.

Dans ce cas, il faut pour que l'information puisse passer opérer une transformation de la conscience, sur un plan purement psychologique, en dehors de tout changement social. Il s'agit ici d'un obstacle à la communication plus résistant que dans le cas précédent, mais on peut encore imaginer une possibilité de le surmonter. Une structure psychique individuelle peut à la limite être transformée. On peut changer le milieu dans lequel vit l'individu, on peut lui faire subir un traitement psychanalytique, etc.

Un troisième palier qui est déjà sociologique mais qui reste encore périphérique, est celui où un groupe social particulier d'individus, étant donnée la structure de sa conscience *réelle*, résultant de son passé et de multiples événements qui

ont agi sur elle, résiste au passage de certaines informations.

Nous pouvons imaginer, par exemple, que des chercheurs appartenant à une école scientifique, attachés à une thèse qu'ils ont défendue, se refusent à prendre connaissance de telle ou telle théorie nouvelle qui remettrait en cause tous leurs travaux antérieurs.

Même à ce stade cependant, le problème n'est pas encore fondamental ; c'est le niveau où se situent un grand nombre de malentendus et de difficultés du dialogue dans la vie sociale ; je pense cependant que ce groupe de chercheurs pourra continuer à exister en tant que groupe, même s'il est amené à prendre conscience de la valeur relative de ses théories. En fin de compte, il lui est possible d'intégrer la théorie nouvelle.

Il s'agit là encore d'une possibilité de transformation de la conscience réelle qui ne remet pas en question l'existence du groupe social.

Nous arrivons maintenant à un niveau plus important dans le domaine qui nous préoccupe, celui où se pose le problème de ce que Marx appelait les limites de la conscience possible, c'est le cas où pour obtenir la transmission le groupe en tant que groupe doit disparaître ou se transformer, au point de perdre ses caractéristiques sociales essentielles.

Il existe effectivement des informations dont la transmission est incompatible avec les caractéristiques fondamentales de tel ou tel groupe social. C'est le cas où les informations dépassent le maximum de conscience possible du groupe.

Aussi le sociologue doit-il toujours se demander lorsqu'il étudie un groupe social, quelles sont les catégories intellectuelles fondamentales, l'aspect *spécifique* des concepts d'espace, de temps, de bien, de mal, d'histoire, de causalité, etc., qui structurent sa conscience, dans quelle mesure ces catégories sont liées à son existence, quelles sont les limites de son champ de conscience qu'elles engendrent et enfin quelles sont les informations situées au-delà de ces limites et qui ne peuvent plus être reçues sans transformation sociale fondamentale.

Tout groupe tend en effet à connaître de manière adéquate la réalité, mais sa connaissance ne peut aller que jusqu'à une limite maxima compatible avec son existence.

Au-delà de cette limite les informations ne peuvent passer que si l'on réussit à transformer la structure du groupe, exactement comme dans le cas des obstacles individuels, elles ne peuvent passer que si on transforme la structure psychique de l'individu.

Il s'agit là d'un concept fondamental pour l'étude des

possibilités de communication dans la vie sociale, concept qui a une très grande importance opératoire, mais qui est insuffisamment étudié pour l'instant, les procédés qui permettent de l'utiliser étant encore à peine dégagés.

Je voudrais maintenant insister sur le fait que dans l'étude des phénomènes humains, nous n'avons jamais affaire à des problèmes qui se posent uniquement sur le plan de la conscience. Tout fait humain, individuel ou social, se présente en effet comme un effort *global* d'adaptation d'un sujet à un monde ambiant, c'est-à-dire, comme un processus orienté vers un état d'équilibre qui reste provisoire dans la mesure où il sera modifié par la transformation du monde ambiant due à la fois à l'action du sujet à l'intérieur de cet état d'équilibre et à l'extension de la sphère de cette action.

Dans ces conditions, tout essai de séparer un domaine particulier de ce processus d'équilibration peut être un procédé utile pour la compréhension et la recherche, à condition de rester provisoire et d'être corrigé ultérieurement par l'insertion de l'objet étudié dans les principaux ensembles pertinents dont il fait partie.

Ces considérations nous paraissent importantes dans la mesure où les liens entre la structure du groupe social et les difficultés de transmission de l'information sont de deux types différents : elles peuvent en effet résulter du fait que l'information dépasse les cadres catégoriaux qui structurent la conscience collective du groupe. Dans ce cas, les difficultés résultent, pour ainsi dire, de l'incompatibilité entre les éléments sinon permanents tout au moins relativement durables de la structuration et la nature du message transmis.

Mais la vie des hommes et des groupes sociaux n'est pas un état mais un ensemble de processus. Il se peut que la difficulté de transmission résulte du fonctionnement de ce processus, fonctionnement toujours lié de manière immédiate ou médiatisée à la tendance du sujet individuel ou collectif à maintenir sa structure et à agir dans le sens de l'équilibration. Or, ici, le caractère relatif et provisoire de toute séparation devient particulièrement important car la difficulté de transmission d'une information peut résulter non pas de son conflit avec le comportement du secteur étudié, mais du conflit avec les répercussions que le fonctionnement de ce secteur peut avoir sur les processus qui se déroulent dans un autre secteur provisoirement éliminé par la recherche.

Arrêtons-nous à quelques exemples : on peut faire l'histoire des sciences physiques et sociales comme celle d'un ensemble de processus purement intellectuels. Du point de vue scientifique, ce cadrage de l'objet peut être extrêmement utile.

Le sociologue ne doit cependant jamais oublier que toute théorie scientifique a, sur le plan social, des conséquences pratiques même si le chercheur qui l'a élaborée n'y a jamais pensé et les ignorait complètement. Or, si ces conséquences pratiques, notamment lorsqu'il s'agit de sciences humaines, sont de nature telle qu'elles risquent d'entrer en conflit avec les buts pratiques vers lesquels s'oriente, à un moment donné, un groupe social, des difficultés vont se répercuter tant sur l'élaboration de la théorie que, la théorie une fois élaborée, sur les possibilités de la faire entrer dans la discussion, c'est-à-dire sur la transmission du message.

De même on peut distinguer provisoirement l'action des hommes sur les autres hommes de l'action des hommes sur le monde extérieur. Encore ne faut-il pas oublier que ces deux formes d'action réagissent l'une sur l'autre et que toute transformation du monde ambiant entraîne une transformation du sujet individuel ou collectif, et inversement.

De même la distinction d'éléments subjectifs et objectifs dans une information est sans doute importante, mais n'a, elle aussi, qu'une valeur relative. Pour le psycho-sociologue, tout élément subjectif, même le plus valorisant ou le plus distordant, constitue en tant que fait psycho-social une réalité *objective*, et inversement, toute constatation, même la plus rigoureuse soit-elle, se passe à l'intérieur d'une conscience et se trouve par cela même être aussi un fait *subjectif* lié à un processus d'équilibration orienté vers un but.

Enfin, nous voudrions donner un dernier exemple particulièrement important pour les conditions d'élaboration et de transmission des messages. La vie de la société ne constitue pas un tout homogène ; elle se compose de groupes partiels entre lesquels les relations sont multiples et complexes. On pourrait les définir d'une manière très schématique et globale comme un ensemble de conflits et de collaborations. Or, la vie de chacun de ces groupes constitue un ensemble de processus orientés vers un équilibre spécifique, et par conséquent le secteur conscient de ces processus sera structuré par un groupe de valeurs spécifiques et particulières. Or, il se peut que la prise de conscience d'une certaine information, même conforme aux catégories mentales de la conscience du groupe, et favorable à l'équilibre vers lequel il est orienté, puisse avoir des conséquences hautement nuisibles à la réalisation de cet équilibre, si elle se produit aussi dans la conscience des autres groupes sociaux constituants de la société globale. Or, comme la mauvaise foi est un phénomène individuel qu'on ne rencontre que de manière tout à fait exceptionnelle et provisoire dans des groupes sociaux extrêmement

restreints, des situations comme celle que nous venons d'envisager engendrent non pas des faits de mauvaise foi, mais de phénomènes idéologiques, des distorsions considérables dans l'élaboration, la transmission et la réception d'un certain nombre d'informations.

Ceci dit, et en rappelant le caractère purement empirique des règles que nous pouvons indiquer aujourd'hui pour l'utilisation du concept de maximum de conscience possible, je voudrais clore cette communication par l'énumération de trois principes particulièrement importants.

1) La situation se trouve aujourd'hui essentiellement différente pour l'élaboration et la transmission des informations concernant la nature physico-chimique et même biologique, et pour celles concernant la vie psychologique, sociale et morale. Dans le premier cas, en effet, le désir de maîtriser la nature constitue un élément universel qui structure l'ensemble du processus intellectuel de presque tous les groupes sociaux existants et en tout cas de tous les groupes sociaux des sociétés industrielles moyennement et hautement avancées. C'est pourquoi on fait la même physique ou tout au moins une physique très rapprochée à Washington, à Moscou, au Japon, à Paris et à Varsovie. Les difficultés de transmission du message sont dans ce domaine plutôt de celles que nous avons classées sous les rubriques 1 et 3 dans notre classification initiale, et tiennent très rarement au groupe 4, c'est-à-dire au maximum de conscience possible. La pensée physico-chimique, bien entendu, ne me paraît pas indépendante de la structure physique et intellectuelle de l'homme et de l'univers. Je viens, dans une conversation, à midi, de dire à mon voisin de table que dans une planète imaginaire où vivraient des êtres incapables de se mouvoir dans l'espace mais capables d'agir psychiquement sur les couleurs, c'est le changement des couleurs qui constituerait le principe opératoire et quantitatif et non, comme c'est le cas pour la conscience humaine, l'espace. Ces êtres ne pourraient pas dire qu'un espace est deux fois plus grand qu'un autre, mais par contre, qu'un certain bleu est deux fois plus grand qu'un certain rouge, à supposer que la répétition d'une action qui engendre le premier aboutisse à la reproduction du second.

Mais, pour les hommes vivant sur notre planète, une objectivité scientifique est en train de se constituer pour tout ce qui concerne les sciences physico-chimiques et, sans être compétent, il me semble que c'est aussi le cas, bien qu'à un degré moins avancé, pour les sciences naturelles. Dès qu'il s'agit de faits humains cependant, les buts conscients ou non conscients deviennent particuliers et cela veut dire que la structure des consciences exige pour les raisons dont nous avons déjà parlé le développement et la transmission de certains messages, la déformation de certains autres, et l'empêchement de l'élaboration et de la transmission de toute une série de messages qui entrent en conflit avec la réalisation de ces buts.

Et, bien entendu, ces trois catégories d'information ne coïncident pas d'un groupe à l'autre.

C'est dire l'extrême complexité de l'étude de la transmission des messages portant sur les différents aspects de la vie des hommes.

2) Une des règles les plus importantes pour l'effort de dégager des structures sociales essentielles et de construire dans chaque cas concret le concept de maximum de conscience possible, est fondée sur l'hypothèse initiale que tous les faits humains constituent des processus de structuration significative orientés vers des équilibrations provisoires et dynamiques : or, comme, au départ, les faits humains ne nous sont pas donnés sous cette forme mais comme un amas de données partielles qu'on peut constater empiriquement et énumérer mais dont il est très difficile de dégager la structure, nous devons, après avoir fait même d'une manière aussi honnête que possible nos recherches, si nous n'obtenons pas une telle structure, si l'objet étudié ne devient pas significatif, admettre qu'il est mal découpé.

Par exemple si un étudiant vient me voir et me dit qu'il veut faire un travail sur la « hiérarchie » ou sur la « dictature », je lui réponds que la hiérarchie n'existe pas en tant que structure significative et qu'il en est de même en ce qui concerne la « dictature ». Il y a *des* hiérarchies, il y a aussi des groupes de hiérarchies de type apparenté, comme il y a des groupes de dictatures qui, quant à eux, sont significatifs. Ainsi en est-il par exemple du groupe des dictatures post-révolutionnaires, ou d'autres types qui sont aussi des réalités sociales.

Mais, les découpages généraux du type de « la hiérarchie » et de « la dictature » comme telles sont dépourvus de valeur opératoire, dans la mesure où ils nous amènent à étudier des objets qui ne sont pas des structures significatives. Il faut cadrer l'objet étudié de manière à ce que je puisse l'étudier comme déstructuration d'une structure traditionnelle et comme naissance d'une structure nouvelle. Et, si vous me permettez d'employer un terme philosophique, je crois que le concept hégélien et marxiste de passage de la qualité à la quantité désigne simplement, dans le devenir, l'instant où les transformations à l'intérieur d'une structure sont telles que la structure ancienne disparaît et qu'une structure nouvelle vient

de naître qui s'oriente par la suite vers un nouvel état d'équilibre.

On peut préciser peut-être ici les concepts de compréhension et d'explication : la description d'une structure significative et de ses liens internes est un phénomène de *compréhension*. Mais l'essai de décrire le devenir de la structure plus vaste (car, bien entendu, nous sommes toujours en présence d'une structure relative composée de structures partielles et qui fait elle-même partie de structures plus vastes) a une valeur explicative par rapport à la structure englobée. Si j'étudie les *Pensées* de Pascal comme structure significative interne, j'essaie de la comprendre ; mais si ensuite je les insère comme une structure partielle dans une structure plus vaste qui est celle du mouvement janséniste, je *comprends* le jansénisme, et j'explique par le jansénisme les *Pensées de* Pascal.

Et si j'insère le mouvement janséniste dans la structure globale de la noblesse de robe, je *comprends* l'histoire de la noblesse de robe et j'*explique* par elle la genèse du jansénisme. Si, ensuite, je fais la même opération avec la noblesse de robe dans la France du XVIIIe siècle, je me situe à un niveau d'explication pour cette noblesse de robe et à un niveau de compréhension pour la structure globale.

L'emploi de ce procédé en accordant une valeur privilégiée aux processus d'équilibration orientés non pas vers certains buts partiels mais vers l'organisation globale des relations mutuelles entre les hommes et des relations entre les hommes et la nature, constitue une première règle dans l'effort de dégager dans chaque cas concret la genèse et les limites du maximum de conscience possible.

3) Je voudrais enfin signaler — mais ceci concerne un domaine de recherche particulier, dans lequel se situe ma propre expérience et celle d'un certain nombre d'historiens marxistes — que les œuvres philosophiques, littéraires et artistiques s'avèrent avoir une valeur particulière pour la sociologie parce qu'elle se rapproche et précisément et à un degré très avancé du maximum de conscience possible de ces groupes sociaux privilégiés dont la mentalité, la pensée, le comportement sont orientés vers une vision globale du monde.

Si ces œuvres ont une valeur privilégiée non seulement pour la recherche mais pour les hommes en général, c'est en effet parce qu'elles correspondent à ce vers quoi tendent les groupes essentiels de la société, à ce maximum de prise de conscience qui leur est accessible, et inversement l'étude de ces œuvres pour la même raison est un des moyens les plus efficaces — je ne veux pas dire le seul ni même le meilleur

— pour connaître la structure de la conscience d'un groupe, la conscience d'un groupe et le maximum d'adéquation à la réalité auquel elle peut atteindre.

A titre d'exemple, une analyse des incompréhensions du rationalisme devant la pensée tragique et dans le cas concret une analyse des éléments communs que je veux trouver dans les réactions de Voltaire et de Valéry devant l'œuvre de Pascal nous permet de saisir les limites d'incompréhension d'un groupe social pris à différents moments de son histoire à l'égard d'un certain type de message provenant d'un autre groupe.

Je crois qu'avec ces remarques, brèves et schématiques, sur le concept du maximum de conscience possible, nous avons abordé l'un des instruments conceptuels les plus importants pour l'étude de la vie sociale en général, et celle de la transmission des messages en particulier. Pour être scientifique, le sociologue doit se demander non pas ce que tel membre du groupe social pense aujourd'hui sur le frigidaire et le confort, sur le mariage et sur la vie sexuelle, mais quel est le champ de conscience à l'intérieur duquel tel ou tel groupe d'hommes peut, sans modifier sa structure, varier ses manières de penser, sur tous ces problèmes et, en bref, quelles sont les limites que sa conscience de la réalité ne peut dépasser sans une profonde transformation sociale préalable.

Aussi le concept de conscience possible nous mène-t-il au centre des problèmes de la compréhension de la vie sociale, mais si nous disposons pour l'utiliser de quelques éléments méthodologiques, et il y a encore beaucoup à faire, et j'espère que la discussion m'aidera moi-même à éclaircir un peu ces problèmes.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Je remercie l'orateur des idées nouvelles qu'il nous a apportées sur les relations entre les structures sociales et les possibilités de communication et d'information, et je demande maintenant quels sont ceux qui désirent prendre la parole.

M. LWOFF.

J'ai écouté avec beaucoup d'intérêt la communication de M. Goldmann ; et si j'ai bien compris ce qu'il appelle information dans le cas concret qu'il a traité, c'est l'injection à des paysans russes du dogme de la supériorité de la propriété collective sur la propriété privée.

J'avoue que je ne comprends pas très bien ; nous sommes ici pour parler du concept d'information dans la science contemporaine, nous avons entendu des communications extrêmement intéressantes ce matin et cet après-midi, mais j'avoue que je n'ai pas encore compris ce que c'était que l'information, ce que c'était qu'un message, et en quoi toutes ces communications ont un rapport avec la science contemporaine.

Le mot information est utilisé par les physiciens et par les mathématiciens dans un sens très déterminé, il est utilisé par les biologistes dans un autre sens ; et j'ai l'impression que les métaphysiciens et les sociologues l'utilisent dans un sens tout à fait différent ; je ne vois pas comment nous nous entendrons si nous continuons à opérer de cette façon-là.

M. LE PRESIDENT.

A propos de ce que dit M. Lwoff c'est une observation que je faisais ce matin dans une conversation privée avec M. Hyppolite. J'aurais désiré poser à M. de Santillana — je n'ai pas voulu le faire — une question pour savoir au juste le rap-

port qu'il y avait entre les choses très intéressantes qu'il nous a dites et la théorie de l'information ; mais cela aurait fait rebondir beaucoup le dialogue ; c'est pourquoi je n'ai rien dit.

M. GOLDMANN.

Il me semble qu'information signifie transmission d'un certain nombre de messages, d'affirmations vraies ou fausses à un partenaire qui les reçoit, les déforme, les accepte ou les refuse ou bien reste entièrement sourd et réfractaire à toute réception. Dans cette perspective, l'affirmation (qui me paraît d'ailleurs objectivement vraie) que la grande exploitation agricole coopérative présente des avantages pour l'exploitant et surtout des possibilités de développement technique plus rapide, était une affirmation significative et le problème de savoir si le paysan russe pouvait la recevoir, la comprendre, être sensible aux arguments qu'elle invoque, est un problème qui relève du mécanisme et des conditions de la transmission des informations.

Or, Lénine affirmait qu'indépendamment de son contenu de vérité, pour des raisons relevant du maximum de conscience possible de la paysannerie russe de l'époque, cette affirmation ne pouvait en aucun cas être comprise et acceptée par la masse des paysans, alors qu'un autre message, celui-ci par exemple : « il vaut mieux changer votre opinion sur le tzarisme », avait au contraire, étant donnée la situation concrète, de très grandes chances d'être accepté.

J'ai pris là un exemple particulièrement frappant, mais je peux facilement en prendre d'autres dont la relation avec l'action sociale et politique est plus médiatisée et qui à cause de cela paraissent avoir un caractère plus théorique. Il suffit de mentionner celui de l'importance de la planification pour le développement de la production, idée qui me paraît s'être heurtée avant 1939 à de très grandes difficultés de compréhension dans la pensée économique. Enfin, je vais vous donner un exemple en apparence purement théorique et par cela même particulièrement frappant : le modèle global de la production et de la circulation des biens dans la société élaboré au XVIII[e] siècle par les physiocrates dans le célèbre *Tableau Economique*, est redevenu aujourd'hui un lieu commun de la pensée économique. On le trouve dans chaque manuel, alors qu'il avait presque entièrement disparu de la pensée économique universitaire pendant toute la période qui sépare les physiocrates de Keynes.

Il est cependant à noter que dès la fin du XIX[e] siècle, Marx

l'avait déjà repris dans le *schéma* de la reproduction du deuxième tome du *Capital* au centre de sa pensée économique. Je me rappelle encore que dans un manuel classique d'histoire des doctrines économiques, celui de Gide et Rist, utilisé par des dizaines de milliers d'étudiants, on parlait du « plaisir enfantin » des physiocrates à trouver dans le *Tableau Economique,* à la fin, ce qu'ils y avaient mis au commencement. De même, lorsqu'Engels a publié le *schéma* de la reproduction du deuxième tome du *Capital,* de très nombreux compte rendus et la plupart des économistes marxistes ne comprirent pas du tout l'utilité de ces calculs qui leur semblaient des plus stériles. On a là un cas précis où une information *théorique* ne passe pas à cause d'une certaine structure sociale et intellectuelle.

M. MACKAY.

Si je comprends bien l'exposé très intéressant de M. Goldmann, il nous signale qu'il sera possible pour une société d'avoir des scotomata épistémologiques liés à la structure sociale.

M. GOLDMANN.

Exactement des scotomisations, des limites de compréhension.

M. MACKAY.

Je voudrais demander si cette situation est réciproque : est-il possible qu'une société ferme les yeux délibérément à une certaine vérité par l'assomption d'une structure nouvelle ?

M. GOLDMANN.

Non seulement c'est possible, mais j'ai moi-même, ainsi que Lukacs, analysé des cas très précis. Je puis vous donner des exemples historiques.

M. MACKAY.

Ce qui m'intéresse, c'est que la possibilité de symétrie de cette situation nous interdit de parler d'information en un sens absolu, au sens de la vérité. Si ce que je crois ne peut

pas passer à vous parce que vous êtes tel, mais si votre allégeance peut être changée de façon que vous pourriez comprendre et croire, est-il possible de dire que j'ai des informations pour vous ? N'est-ce pas plutôt quelque chose ressemblant à une recommandation ? Si je dis : une telle chose est possible pour la société...

M. WIENER.

Inhibition.

M. MACKAY.

... Si j'ai une proposition sociale, si je vous la recommande, à vous, et que vous ne puissiez pas me croire, n'est-ce pas que je suis en train d'essayer de vous influencer, plutôt que de vous informer ? Là est le problème : nous discutons des propositions qui ne sont pas informatives mais monitoires, exhortatives, recommandatives, et c'est une erreur que de parler d'elles comme d'une information, parce que cela suggère qu'une société est aveugle devant un fait, alors qu'au contraire la société en question est seulement résistante à la reconnaissance de la situation symétrique.

M. GOLDMANN.

Il y a dans votre intervention plusieurs points que je vous suis très reconnaissant d'avoir soulevés. Je commence par le dernier pour revenir aux autres par la suite.

Je ne crois pas que les jugements de fait et les jugements de valeur, les recommandations et les informations soient indépendants les uns par rapport aux autres. Car, dans la mesure où certaines informations, certains jugements de fait, arrivent à la connaissance des hommes, ils auront nécessairement une certaine influence sur leur comportement (et cela en faisant abstraction de l'influence des jugements de valeur sur l'élaboration de ces informations). Pour citer un exemple concret, je me souviens d'un article de Sartre publié après la guerre dans le journal communisant *Action* dont la substance était celle-ci : je suis beaucoup plus révolutionnaire que vous car moi je déclare qu'il n'y a aucun espoir révolutionnaire et malgré cela je me joins à vous dans l'action.

Cette position que peut adopter un individu constitue ce-

pendant un mélange, elle n'est pas cohérente. Et c'est pourquoi si l'information qu'il n'existe pas d'espoir révolutionnaire fondé arrive à cinq cent ou cinq mille personnes et est acceptée par elles, vous pouvez être sûrs que la très grande majorité ne prendra pas les positions de Sartre mais conclura qu'il faut abandonner une action qui n'a pas d'espoir de réussite. C'est pourquoi l'information indépendamment de son exactitude, de son contenu de vérité sera difficilement enregistrée et acceptée par des groupes orientés vers une perspective révolutionnaire.

C'est pourquoi d'ailleurs dans une guerre nous ne voyons que très rarement et dans des cas tout à fait exceptionnels les dirigeants d'un des camps déclarer en plein combat que les chances de la victoire sont extrêmement faibles.

Information et recommandation ne sont donc pas indépendantes. Quand un groupe social résiste à la réception d'une recommandation, il résistera aussi à toutes les informations susceptibles de la favoriser.

D'autre part, vous avez parlé de résister « délibérément », or, il est extrêmement rare qu'un petit groupe de gens résistent de manière délibérée à la réception d'une information, les processus psychiques sont beaucoup trop complexes, aucun groupe social relativement étendu ne saurait vivre dans la mauvaise foi, les mécanismes de résistance sont épistémologiques et se situent sur un plan de l'idéologie qui permet d'éviter précisément la mauvaise foi.

M. MACKAY.

Je suis d'accord avec vous ; ce n'est pas possible pour un groupe dans la mesure où il est question d'une seule génération. Mais n'est-il pas possible, pour un groupe, d'organiser l'éducation de ses enfants de telle manière qu'ils soient aveugles sur un point ?

M. GOLDMANN.

Cela arrive. Mais même dans ces cas, on n'éduque pas les enfants en leur disant qu'il ne faut pas voir, qu'il faut refuser tel ou tel type d'informations même si elles sont vraies. L'éducation crée, elle aussi, des mécanismes de défense qui évitent la mauvaise foi ; je prends un exemple concret. Dans certains milieux sociaux de l'Allemagne, on trouve aujourd'hui une tendance très forte à éliminer tout ce qui touche la période de 1933 à 1945. J'ai même lu des ouvrages de sociologie historique qui éliminaient presqu'entièrement cette période. Sans doute s'agit-il parfois d'un oubli volontaire, mais c'est aussi un oubli spontané d'une réalité devenue désagréable dans la conscience collective d'un certain nombre de groupes sociaux ; il ne s'agit pas de simples processus de mauvaise foi mais de mécanismes psychiques de défense spontanée et implicite.

Contrairement aux thèses d'un marxisme simplificateur qui suppose que le progrès augmente toujours la sphère de compréhension, il arrive aussi que les transformations de la société entraînent pour certains groupes non un élargissement du champ de compréhension, mais au contraire un rétrécissement.

Nous en connaissons au moins deux exemples : celui de l'Allemagne à la fin du XVIIIe et au début du XIXe siècle où le retard du développement économique et l'impossibilité de réaliser une transformation révolutionnaire ont créé dans la bourgeoisie, et notamment chez les intellectuels qui avaient des sympathies pour la révolution française, une prise de conscience des limites à la fois de cette révolution et de la pensée rationaliste. Si la philosophie tragique et dialectique de Kant et de Hegel s'est développée en Allemagne à cette époque et non pas en France, c'est, en partie tout au moins, parce que la bourgeoisie et la petite bourgeoisie françaises engagées dans la transformation révolutionnaire ne pouvaient pas, en même temps, prendre leurs distances par rapport à cette révolution et au rationalisme qui apparaissait étroitement lié à celle-ci.

Le second cas est celui de la philosophie pascalienne. Au XVIIe siècle, le groupe social et politique qui transforme et renouvelle la société française est constitué par la bourgeoisie et la monarchie et, reliés à elle, la philosophie cartésienne et les ordres religieux de l'Oratoire et des Jésuites. Et c'est précisément à cause de cela que se développe dans le groupe conservateur (qui résiste à cette transformation) de la noblesse de robe et du jansénisme, la pensée pascalienne dont l'adéquation à la réalité va, sur beaucoup de points, bien plus loin que le cartésianisme et voit clairement certaines limites tant de la philosophie rationaliste que des transformations sociales en cours.

M. BECK traduit ce que vient de dire M. MacKay en anglais :

Je prends un exemple, la peur de l'Amérique qui existe chez les Russes, en dépit d'un sentiment de bonne volonté à

l'Ouest envers les Russes ; les Russes sont-ils incapables de comprendre et d'accepter comme vraie cette bonne volonté, à cause des structures sociales, de l'éducation sociale en Russie ?

M. GOLDMANN.

Je crois que le problème est beaucoup plus complexe et pose un problème général de sociologie politique qui dépasse celui des relations contemporaines entre les Russes et les Américains. Si j'ai dit, en effet, que la mauvaise foi collective est un phénomène extrêmement rare et presque inexistant, il n'est pas moins important de savoir que la bonne foi des individus et notamment des dirigeants ne constitue pas une garantie de comportement adéquat ; bien entendu, je pense que les dirigeants russes sont habitués à analyser non pas les intentions, mais des facteurs objectifs, dans la mesure où ils ont, malgré tout, une certaine éducation marxiste. La question n'est donc pas de savoir si tel ou tel politicien de l'Ouest ou si tel groupe de dirigeants occidentaux sont sincères lorsqu'ils déclarent ne pas vouloir un conflit armé, mais de connaître les rapports de force pour évaluer si la situation objective ne crée pas un risque très grand pour que cette bonne foi pacifiste actuelle ne se transforme rapidement en bonne foi agressive.

Ceci dit, je pense effectivement que les gouvernants politiques et militaires des deux camps constatent le danger que représente une guerre atomique, même pour le vainqueur, et que cela constitue un facteur réel d'augmentation des chances de la paix ; il ne faut cependant pas oublier que cette chance d'éviter le conflit grâce à l'équilibre de la terreur se déroule sur l'arrière-plan d'une loi sociologique et politique générale, celle que les groupements étatiques ont tendance, lorsqu'ils sont particulièrement forts, à imposer leurs intérêts aux états plus faibles.

Le changement important des groupes dirigeants à l'intérieur d'un groupe social est rarement dû à un simple hasard. Il correspond le plus souvent au fait que la politique préconisée par les nouveaux dirigeants correspond mieux aux rapports objectifs des forces.

Dans cette constellation, il ne faut pas oublier que, même si actuellement l'équilibre de la terreur diminue considérablement les risques de conflit, les dirigeants russes et occidentaux savent très bien les uns et les autres qu'une rupture de cet équilibre créerait à nouveau des risques de conflit et cela, quels que soient la bonne foi et les sentiments pacifiques de 25 ou de 50 dirigeants actuels d'un côté ou de l'autre.

M. MACKAY.

Cela veut dire que les sociologues ne doivent être liés à aucune société pour être objectifs. Mais c'est impossible.

M. GOLDMANN.

Pardon. Je crois effectivement, et j'ai même fait un livre qui a choqué dans une certaine mesure la sociologie officielle pour le dire, que dans les conditions sociales actuelles, il est impossible d'être objectif en sciences sociales et cela pour la simple raison que le sociologue fait toujours partie d'un groupe social dont les buts sont particuliers ; ceci dit, on peut essayer de comprendre autant que possible ses propres valeurs et leur rattachement à tel ou tel groupe et le dire explicitement pour faciliter les critiques des sociologues qui écrivent dans des perspectives différentes et même opposées.

M. BECK.

Pour reprendre ce même problème, il y a par exemple à l'Ouest une conscience possible, de l'autre côté de la barrière une conscience possible qui limite les possibilités d'information ; chaque sociologue a aussi une conscience possible, cela vous limite dans les possibilités d'information.

M. GOLDMANN.

Oui, et tout ce que je peux faire, c'est dire : voilà mes valeurs, mes positions actuelles ; je suis reconnaissant à tous les critiques de montrer dans quelle mesure je suis limité par mes valeurs, dans la compréhension des faits.

La conscience d'un maximum de conscience possible a deux aspects : individuel (et je dis que l'individu peut se transformer beaucoup plus facilement par éducation, par conversation, par traitement s'il est malade) — et social.

Dans un pareil cas, il est possible que Marx devienne socialiste, que M. X... change de position, mais le groupe ne changera pas.

M. BECK.

Mais en vous disant marxiste, comme vous avez dit très franchement depuis le commencement, au fond vous dites : « Je ne suis plus marxiste », parce que vous êtes conscient d'être marxiste.

M. GOLDMANN.

Vous avez tellement raison que le problème s'est posé dans l'histoire du marxisme : dans un des livres les plus importants de la philosophie marxiste, qui vient d'ailleurs d'être traduit en français, *Histoire et conscience de classe,* de Georges Lukacs, il y avait un chapitre qui a fait scandale et le livre a été mis à l'index à cause de cela : il s'intitulait *le dépassement du matérialisme historique.* Aujourd'hui on prend conscience du problème et on essaye d'appliquer la méthode marxiste à l'histoire du marxisme.

M. BECK.

On n'est plus marxiste.

M. GOLDMANN.

Peut-être dans le sens d'un dogme figé mais on continue à appliquer la méthode de Marx en modifiant toute une série d'éléments dans ses analyses concrètes.

M. LWOFF.

Mais où est l'information dans tout cela ?

M. GOLDMANN.

On ne parle que de cela.

M. MELEZE.

M. Goldmann a décrit l'antagonisme entre des groupes sociaux. Vous avez pris l'exemple classique du monde occidental et de la Russie : vous avez dit que malgré toute la bonne foi possible des dirigeants, il y avait une certaine structure sociologique contraignante qui faisait que, jusqu'à une époque récente, il y avait des phénomènes d'agression, de domination mutuelle obligatoires ; vous avez décrit cette peur atomique, cette terreur de l'apocalypse ; est-ce qu'on pourrait l'assimiler peut-être grossièrement en passant du stade individuel au stade collectif à une espèce de refoulement maximum ?

M. GOLDMANN.

J'ai dit que les groupes sociaux décisifs du point de vue de la praxis historique et de la création culturelle sont les groupes orientés vers une structuration globale de la société, c'est-à-dire, au moins pour une très longue période de l'histoire, les classes sociales. Or, il ne me semble pas que la distinction Est-Ouest concerne de pareils groupes. Néanmoins, il existe un antagonisme Est-Ouest dont la portée est suffisamment grande pour admettre qu'il agit de manière non négligeable sur la conscience collective de tous les groupes constitutifs de la société contemporaine ; encore faut-il savoir quelle est la nature et le domaine de cette action, Il me semble qu'en dehors même de la physique et de la technique, il y a beaucoup d'autres éléments communs dans la conscience collective des deux groupes et je ne serais même pas certain que la distinction Est-Ouest soit particulièrement pertinente pour les problèmes de morale individuelle (famille, amitié, etc.).

Ceci dit, il existe un antagonisme Est-Ouest et j'ai seulement voulu dire que la conscience se structurant en grande mesure de manière conforme à la praxis et aux rapports de force depuis des siècles, les états se sont toujours orientés vers l'extension de leur puissance et de leur sphère d'influence, alors qu'aujourd'hui à cause du danger des armes atomiques, non seulement pour le vaincu, mais aussi pour le vainqueur, le désir d'éviter le conflit commence à devenir un facteur réel dans la politique des gouvernements et, implicitement dans la conscience collective des groupes qui constituent la population de ces Etats.

M. SALOMON.

Je me permets de surabonder dans le sens du Dr Lwoff ; je crois qu'il faut poser des questions très précises. M. Goldmann a fait un exposé sur un projet d'étude des structures sociales à la lumière du concept de conscience possible, exposé particulièrement intéressant, mais la question qu'on peut poser est celle-ci : quel est le rapport entre ce projet d'étude à la lumière du concept de conscience possible avec la théorie de l'information ? — je veux dire qu'il me semble que M. Goldmann utilise la notion d'information un peu à tort et à travers.

Je ne crois pas que ce projet d'étude, pas plus que cet exposé, doivent quoi que ce soit à la théorie de l'information, ni surtout qu'elle ait besoin de s'appuyer sur eux pour s'accomplir et réussir. C'est ma question.

Ici sont réunis des hommes de science, des savants et des philosophes ; leur propos était précisément d'essayer de savoir en quoi consiste ce concept, cette théorie de l'information et l'information tout court ; il me semble qu'on est très loin de parvenir à cette fin dans la mesure où chacun s'oriente dans une direction déterminée en faisant abstraction de ce que pourrait avoir d'enrichissant la notion même d'information.

Si précisément l'information est une notion passe-partout, conçue, si vous voulez, comme une notion d'information journalistique au sens où précisément tout se transmet à un moment donné d'un transmetteur à un récepteur, il y a toujours information à tous les degrés, et pas plus en sociologie que dans n'importe quel autre domaine.

Mais le problème est de savoir en quoi cette notion peut permettre d'élaborer et d'enrichir quelque chose de tel qu'une conception philosophique liée à elle.

M. GOLDMANN.

Si tu veux dire que les problèmes que j'ai soulevés ne sont pas étroitement liés aux problèmes des machines et à la cybernétique, tu as parfaitement raison, j'ai dit dès le début que je voulais simplement ajouter une annexe qui ne se situe pas cependant au centre même des préoccupations du colloque ; d'autre part, il me semble que la théorie de l'information doit s'intéresser aussi à la réception des informations émises ; et que, dans la mesure où — je reprends un exemple que j'ai donné tout à l'heure — pendant cinquante ou soixante ans on ne pouvait pas faire prendre conscience aux économistes du monde occidental du problème des modèles de croissance alors qu'aujourd'hui brusquement, tout le monde en parle, c'est tout de même un problème de théorie de l'information que de savoir pourquoi des économistes comme Gide, Rist, Nogaro et tant d'autres n'arrivaient pas à comprendre l'importance de ces modèles.

M. SALOMON.

C'est un problème qui relève d'une forme précise de la sociologie ; cela ne concerne pas nécessairement la théorie de l'information, pourquoi voulez-vous que cette théorie s'occupe précisément maintenant au point où elle en est d'élaboration de ses propres notions et de ses propres moyens de ce qui arrive au récepteur ?

M. GOLDMANN.

Tu as parfaitement raison, j'ai dit que je parlais du récepteur et non pas de l'émetteur ; tu me dis que cela ne concerne pas l'état actuel de la théorie de l'information. Je n'en sais rien.

M. LE PRESIDENT.

N'oublions pas que nous avons demandé à M. Goldmann de remplacer au pied levé un orateur absent ; si sa communication déborde quelque peu le projet de notre colloque, nous devons tout de même tenir compte des conditions dans lesquelles nous lui avons demandé de le faire.

M. SEBAG.

Je veux intervenir sur un des points évoqués, le rapport entre jugement de fait et jugement de valeur ; la thèse développée dans la seconde partie de l'intervention est qu'il n'y a, en aucune manière, une science possible, indépendamment des jugements de valeur du savant, de l'observateur, et que la seule condition de rigueur dans ce domaine est d'être conscient de ses propres jugements de valeur.

Par conséquent, il n'y a pas de science réellement, il n'y a pas un groupe de savants homogène à toutes les communautés qui pourraient, en utilisant un certain nombre de critères opératoires, tomber d'accord sur l'analyse de la réalité sociale ; parce qu'il y a d'abord des partitions qui obéissent à un principe idéologique.

M. GOLDMANN.

Dans les sciences humaines.

M. SEBAG.

Or, je pense que ce point de vue n'est pas défendable quand on examine la voie vers laquelle s'orientent les sciences humaines.

Je veux dire par là qu'il est effectif que si nous prenons l'histoire des sciences humaines nous avons à tout moment

interférence de jugements de valeur, dont d'ailleurs il faudrait préciser les modalités, mais cette interférence des jugements de valeur renvoie essentiellement à l'insuffisance des critères opératoires, c'est-à-dire à l'insuffisance des outils intellectuels qu'on utilise pour analyser la réalité sociale. Tu as opposé les sciences de la nature aux sciences de l'homme en ce sens que les sciences de la nature pourraient être acceptées sans difficulté aucune par toutes les sociétés, alors que les résultats des sciences de l'homme sont contradictoires, objet de tension entre les groupes ; cela est lié au fond à la pratique scientifique et à la manière dont elle se constitue ; si nous avons interférence des jugements de valeur, c'est dans la mesure où nos outils intellectuels comportent aujourd'hui une telle marge d'incertitude, laissent la place à tant de théories contradictoires que les jugements de valeur viennent s'y ruer comme dans les abîmes qui ne sont pas comblés. Mais on peut très bien penser que nos outils seront tels un jour que devant l'analyse de la société capitaliste, indépendamment de mes jugements de valeur, il sera possible de savoir si le capitalisme entraîne ou n'entraîne pas la paupérisation.

Je ne crois pas que dans des questions de ce genre, que je prends les plus explosives possibles, les jugements de valeur de l'observateur interviennent. Ils interviennent effectivement dans les trois quarts des cas parce que, d'une part, les outils ne sont pas suffisamment rigoureux encore ; parce que, d'autre part, le champ scientifique est cerné de toutes parts par les champs journalistiques, etc..., ou politiques, mais, à long terme, la voie est de forger des outils tels qu'ils rendent inutiles les jugements de valeur et la plupart des savants travaillent aujourd'hui dans cette direction.

M. DULONG.

Je veux apporter une contradiction à M. Lwoff ; en tant qu'ingénieur électronicien, j'ai été extrêmement intéressé par l'intervention de M. Goldmann parce que j'ai l'impression que quand il parlait d'opacité à une série d'informations, qu'il s'agisse d'un être ou d'un groupe, quand il parle au contraire de ce qui passe, de l'information qui passe, quand il parle de corrélations, ce sont des notions qui nous sont extrêmement familières, que nous n'avons pas étudiées du tout du point de vue de la sociologie que nous touchons tous les jours, mais, au contraire, au point de vue des sciences ; je trouve intéressant d'avoir également un aperçu sur l'interférence de ces notions dans la sociologie.

M. LE PRESIDENT.

M. Lwoff vous dirait que c'est une question de mots que vous employez, que vous employez des mots qui sont mal définis, c'est pour cela que vous croyez rejoindre les mêmes problèmes.

M. LWOFF.

Je ne suis pas électronicien mais je trouve que le mot information a un sens thermodynamique.

M. FESSARD.

Je ne suis pas philosophe, je suis un scientifique qui essaie quelquefois de philosopher et qui est probablement très maladroit en maniant les concepts philosophiques ; je comprends très bien la position de mon collègue et ami Lwoff, cependant il me semble qu'il n'y a pas d'inconvénient à étendre un peu la notion d'information au-delà de ce qu'elle a d'étroit dans la définition qu'en donnent les physiciens, les thermodynamiciens ; nous-mêmes nous venons de tenir un colloque qui s'appelait : *Théorie de l'information en biologie ;* au sens étroit du mot, nous ne devrions avoir le droit de parler de l'information que lorsque nous sommes capables de la calculer, c'est-à-dire de calculer le nombre de bits. Eh bien, vous devez reconnaître que cela n'a pratiquement jamais été fait parce que nous sommes encore bien incapables, même dans les cas relativement simples, par rapport à la complexité des phénomènes sociologiques, de calculer à la fois le nombre des complexions et la probabilité de chaque complexion, ce qu'il faudrait pour calculer quantitativement l'entropie du système ; est-ce une question d'appréciation personnelle ? Il serait très intéressant qu'il y ait un symposium avec ceux qui commencent à avoir la possibilité de faire ces calculs, et ceci réunirait certainement beaucoup de physiciens, de mathématiciens, quelques biologistes et probablement aucun sociologue.

Est-il tout de même dépourvu d'intérêt que des philosophes, des sociologues, des gens des sciences humaines manient, maladroitement ou d'une façon purement qualitative, et peut-être en partie purement verbale et assez critiquable, des modèles cybernétiques pour essayer de comprendre, d'introduire un peu de compréhension dans leurs phénomènes si complexes ? Je ne le crois pas.

Je crois qu'un certain nombre de vos considérations auraient pu être mises sous forme de diagrammes ou d'organigrammes ; cela vaut ce que cela vaut, ce n'est pas absolu, mais tout de même il y a une chose qui m'a intéressé dans ce que vous avez dit : vous avez parlé de l'importance du récepteur, de celui qui décode le message, c'est une notion qui — dans ma partie où nous sommes un peu plus précis, parce que le champ est un peu plus restreint, les complexions relativement plus simples à étudier — mérite d'être approfondie.

Car enfin on parle d'information en termes absolus — pour moi le concept d'information est purement relatif à la qualité qu'a le récepteur de décoder cette information.

C'est Shannon qui a commencé à lancer cette théorie de l'information dans un domaine extrêmement restreint, qui était la communication des lettres, des télégrammes, des mots même dépourvus de valeur sémantique, simplement pour des raisons d'encombrement des lignes, qui intéressaient les télégraphistes.

Eh bien, l'utilisation de l'information n'a de sens pour moi que dans la mesure où les lettres signifient quelque chose.

Si vous parlez de l'information d'un télégramme en lettres pour un arabe ou un chinois, cela n'aura aucune valeur ; je crois que la quantité d'information n'a de sens que dans la mesure où il existe un récepteur qui est capable de décoder cette information.

Dans vos phénomènes il y a au moins deux récepteurs pour la communication humaine d'un individu à un autre, il y a l'information que vous supposez pouvoir être déchiffrée par votre partenaire, et puis l'information que, vous-même, vous déchiffrez à vous-même. Je crois que vous avez voulu dire cela ; elles ne sont pas équivalentes ; néanmoins elles ne peuvent être évaluées qu'en fonction des possibilités analytiques de chaque récepteur.

Cela, nous le retrouvons dans nos problèmes beaucoup plus simples qui sont encore trop compliqués pour donner lieu à des calculs précis ; il y a là une analogie qui n'est pas, me semble-t-il, sans valeur.

Je regrette en un certain sens qu'il n'y ait pas un nouveau symposium qui réunisse des gens qui parlent un peu la même langue. Je crois que ce serait utile, en particulier pour les biologistes.

M. LWOFF.

Je trouve ce colloque extrêmement intéressant, ce que j'ai entendu m'a énormément instruit, mais ce que je ne comprends pas c'est le sens du mot information. M. Goldmann utilise le mot information tantôt dans le sens d'éducation, tantôt dans le sens de propagande.

M. FESSARD.

Oui, parce qu'il ne peut pas la calculer.

M. ROSENBLITH.

J'ai l'impression que nous sommes en face d'obstacles tels que nous ne réussirons pas à généraliser le concept d'information d'une manière rigoureuse ; il ne faudrait pas s'y attendre ; je ne crois d'ailleurs pas que personne s'y attendait en venant ici.

D'autre part, il faut faire attention de ne pas tomber dans le piège d'avoir « simplement » un langage commun ; comme on dit chez nous : les Anglais et les Américains ne sont au fond qu'un même peuple séparé par un langage commun...

Il faut se résigner au fait que des mots comme *information* (et beaucoup d'autres) ne se réduisent pas aisément à une mesure commune.

Au cours de ce colloque nous avons passé d'opérations de filtrage électronique, que nous pouvons calculer de façon précise, aux opérations de filtrage quasi-biologique, et même, avec M. Goldmann, aux opérations de filtrage de structures sociales.

Il est très important de voir que, dans un monde qui devient de plus en plus étroit, et où l'on a l'impression que les données à l'entrée (input data) deviennent les mêmes pour tout le monde, les résultats, — pour employer le langage de M. Couffignal — ne le sont pas du tout ; le même fait objectif est subjectif (je ne veux point entrer ici dans la discussion de ces deux mots qui nous séparent les uns des autres plus peut-être que le mot *information*). Nous nous trouvons ici dans une situation où les Occidentaux et le monde soviétique ont une attitude tout à fait différente, envers la technologie ou le progrès, de celle des Hindous par exemple. Ils nous disent : Vous et les Russes, vous vous entendez parfaitement sur la nécessité de manipuler le monde à l'aide de la technologie ; mais ce n'est nullement de cette façon-là que nous entendons la vie.

La mesure du succès pragmatique d'un modèle cybernétique est à l'heure actuelle assez vague. Il nous donne peut-être le courage d'approcher des problèmes durs d'une façon inat-

tendue. Si nous pouvions prévoir comment certaines données vont se refléter dans l'action d'un groupe ou l'action d'un assemblage d'individus, cela serait alors une justification.

Mais si cela ne réussit pas (je dois dire que je partage sur ce point le pessimisme du professeur Lwoff : trop de gens parlent comme si la cybernétique était le latin du XXe siècle) il faudra faire attention ; car autrement nous repartirons avec moins de bonne volonté envers les méthodes des autres qu'au début de ce colloque.

M. HYPPOLITE.

Je voudrais répondre, presque par des excuses à ce que M. Lwoff disait tout à l'heure ; d'abord ce colloque était un colloque de rencontre entre scientifiques et philosophes. Le hasard des circonstances a fait que les philosophes ont parlé d'abord ; ce n'était pas notre but.

M. LE PRESIDENT.

J'ai dit que nous devions aller du particulier à l'universel; il se trouve que c'est le contraire.

M. HYPPOLITE.

Les hommes de science ne se sont pas trouvés là aujourd'hui par suite de circonstances qui ne dépendent pas de nous; nous avons commencé par parler un langage de philosophes avec l'espoir que dans les jours qui viennent nous entendrons le langage des techniciens et nous mesurerons mieux soit notre faiblesse et notre équivoque soit peut-être aussi celle des savants dans leur genre.

Je voulais simplement ajouter ceci : tous ces mots qui étaient utilisés avant par les philosophes (la communication entre hommes et entre groupes sociaux, le message, le décodage — on disait *déchiffrer* et on jouait sur le mot *déchiffrer*) ces mots-là sont devenus usuels avec le développement de la technique, car les messages ont été transmis de façons diverses ; est-ce que la théorie de l'information n'est pas née, historiquement, d'une sorte de mesure de l'économie possible dans les transmissions, c'est-à-dire qu'au sein du monde humain où régnait déjà une théorie de la communication, du message, du déchiffrage, il y a eu des études techniques faites par les moyens, sur les moyens matériels par lesquels se transmettait l'information ?

C'est l'origine historique.

Et il se trouve qu'après cela tous les mots ont été utilisés d'une façon de plus en plus précise et peut-être divergente par des savants différents.

Ils ont employé le mot *codage*, ils l'ont employé dans un sens et dans l'autre à l'intérieur d'une formule d'un ensemble biologique ; il est tout de même bon que nous leur demandions ce qu'ils veulent dire par là ; de même que nous, nous sommes amenés à nous demander si les mots que nous employions autrefois et qu'ils nous ont empruntés se sont enrichis.

Nous ne pouvons pas séparer nos façons vulgaires de parler (excusez-moi) et le monde humain dans lequel nous vivons, où ces façons se sont incarnées dans des appareils techniques, des machines, et où le langage de la science la plus spéculative a emprunté à ces moyens techniques tout un langage.

Ceci pour nous excuser auprès de vous, Monsieur Lwoff, et pour essayer de justifier les raisons pour lesquelles nous avons commencé par là, ensuite l'espoir que nous avons qu'il s'agit quand même d'un véritable rapport et pas tout à fait d'un dialogue de sourds.

M. LE PRESIDENT.

J'ai dit hier dans mon introduction que je pensais que c'était un mélange détonant, et j'avais dit ensuite : pourvu que le mélange se fasse ; j'espère qu'il va se faire ; mais c'est une espérance.

M. COUFFIGNAL.

Je voudrais essayer de préciser quelques points de la divergence qui s'est manifestée, et en même temps essayer de faire ce mélange dont nous parlions à l'instant.

Il y a un point qu'il ne faut pas oublier, c'est que la notion d'information est antérieure à Shannon. Le mot information avait *un sens* avant Shannon. Shannon a pris le mot information avec seulement une partie des différents attributs qu'il avait.

Il a strictement réduit le mot *information* à *transmission* de signes ; Léon Brillouin le précise de façon très nette au début de la série d'articles qu'il a ensuite réunis en volume ;

il a dit : il est bien entendu que nous ne nous intéressons jamais à la *signification* des messages. La théorie de Shannon ne s'occupe pas de la signification des messages ; elle constitue par conséquent un modèle mathématique d'un certain nombre d'attributs qui ne sont qu'une partie des attributs que le mot information avait avant Shannon.

Ces autres attributs qui ne sont pas intéressés par le signal, par le support de l'information, c'est, suivant le terme qu'a employé M. Fessard à l'instant, la valeur sémantique de l'information. Nous l'avons nous-même appelé de façon plus brève *la sémantique* de l'information en la distinguant du *support*.

Je pense que nous ne pouvons pas dans ce mélange, dans cette fusion que vous souhaitez à juste titre, nous dispenser de considérer, en même temps, la *sémantique* et le *support* de l'information.

Du côté de la théorie mathématique de l'information, on nous donnera un certain nombre de transformations du modèle initial de Shannon qui suggèreront peut-être des propriétés de l'information dans sa totalité, mais il est certain que la sémantique ne peut pas être négligée. Elle ne s'exprime donc que par des modèles qui dépassent le modèle de l'information au sens mathématique.

Parmi ces modèles, il y en a un qui a été utilisé de tout temps, c'est celui de la langue ordinaire ; et je ne vois pas qu'il y ait aucune difficulté à ce qu'on s'exprime dans le modèle plus riche que le modèle mathématique et qui consiste à parler de l'information dans sa totalité. D'ailleurs, et c'est cela que je voudrais mettre en évidence, il y a réaction des idées apportées par la théorie de l'information sur le sens général de l'information, et en particulier le système formé par l'émetteur, le canal et le récepteur, avec l'idée de l'accord nécessaire entre l'émetteur et le récepteur, c'est une notion qui commence à s'introduire en tant qu'idée, et sous des formes dialectiques diverses, et qui est extrêmement enrichissante, me semble-t-il, pour l'étude de l'information dans sa totalité ; et j'ai été très intéressé par la communication de M. Goldmann qui était extrêmement enrichissante, me semble-t-il, pour l'étude de l'information dans sa totalité, car il s'intéresse aux propriétés du récepteur et non pas seulement de l'émetteur, et j'y ajouterai que la notion de l'accord entre le récepteur et l'émetteur apporte — pour l'instant je ne veux donner que l'indication — tout au moins un commencement de solution au problème que les Américains ont appelé le problème des *public relations*, et qui n'existe en réalité que parce qu'on a mis en relation dialectique, et en

relation de pensée, des hommes qui ne sont pas accordés en tant qu'émetteurs, pour les uns, et récepteurs, pour les autres.

Par conséquent je crois que les études qui ont été poursuivies avec la dialectique propre à l'information mathématique peuvent réagir sur l'étude très générale de l'information ; je considère la communication de M. Goldmann comme étant un exemple de cette réaction de l'un sur l'autre.

M. LE PRESIDENT.

Je crois que nous pouvons en rester là ; je pense que les déclarations de M. Couffignal sont de nature à rallier beaucoup de suffrages, en ouvrant des perspectives de conciliation. Je pense qu'elles constituent une bonne conclusion à ce débat intéressant.

LA THEORIE DE L'INFORMATION EST-ELLE *ENCORE* UTILE ?

M. BENOIT MANDELBROT
Harvard University & I. B. M.
Président : M. GUEROULT

M. LE PRESIDENT.

Mesdames, Messieurs, je vais donner la parole à M. Mandelbrot qui va présenter sa communication sur « la théorie de l'information est-elle *encore* utile ? »

M. MANDELBROT.

Je voudrais aller directement au cœur du sujet, et examiner ce que je considère aujourd'hui comme étant le rôle du concept d'information dans plusieurs sciences, dont je crois connaître l'état avec assez de précision pour m'avancer à émettre une opinion. Laissez-moi d'abord répondre à la question que pose le titre de ma communication : Je crois que si le concept d'information est entendu en termes mathématiques précis, les principales conséquences directes de sa théorie peuvent être considérées comme déjà acquises. Elle a connu des succès, puis rencontré des difficultés insurmontées, d'ordre conceptuel aussi bien que technique ; maintenant, elle est en quelque sorte « rentrée dans le rang ». Elle continue cependant de souffrir d'une foule d'implications émotionnelles, dues à son nom et aux excès de la publicité vraiment extraordinaire qui lui avait été faite à ses débuts. C'est là un tel handicap que l'on doit considérer que son utilité scientifique s'est dissoute, au moins pour un temps.

Je veux insister sur le fait que tout ce que je vais dire ne concernera que la théorie de l'information comprise dans

son sens le plus précis, c'est-à-dire la théorie de divers concepts et des diverses formules mathématiques qui ont été qualifiés de « quantité d'information », soit par Claude Shannon, soit par d'autres savants de ces dernières décennies.

Prise de ce point de vue précis, la théorie de l'information paraît en rétrospective n'être qu'une des nombreuses formes prises successivement par un problème beaucoup plus ancien, celui des rapports existant entre deux ordres de descriptions scientifiques : celles qui se basent sur des modèles statistiques et celles qui utilisent des algorithmes en somme déterministes. Cette question s'est posée il y a très, très longtemps, il y a plusieurs siècles, et elle a été grandement développée depuis le XIXᵉ siècle, dans le contexte de la thermodynamique statistique et plus spécialement de la théorie cinétique des gaz. Les savants-philosophes des années 1900 ont ainsi dégagé la plupart des concepts et des difficultés que les théoriciens de l'information allaient rencontrer cinquante ans plus tard. La nouvelle « ronde » de résultats a bien entendu bien renouvelé la question et l'a beaucoup enrichie. Mais le problème des rapports entre le stochastique et l'algorithmique n'a cessé d'être beaucoup plus fondamental que celui du rôle du concept d'information, et — du point de vue des problèmes qui se posent *en ce moment* dans les sciences — il serait très souhaitable que l'on porte beaucoup moins d'accent sur le concept de quantité d'information en tant que tel.

Laissez-moi donc analyser diverses sciences, et — puisque divers auteurs qui m'ont précédé ont parlé *du* concept d'information comme s'il y en avait un seul — laissez-moi commencer par parler de l'état où se trouvent en 1962 ce que l'on peut appeler les études informationnelles en mathématiques et en physique.

Commençons par les *mathématiques*. La chose la plus étonnante, la plus stupéfiante même, dans la théorie de l'information créée il y a quinze ans par Shannon, c'était le théorème sur la correction des erreurs que cet auteur a prouvé ou plutôt conjecturé. On part du fait que, si l'on transmet un long message sur une ligne téléphonique ou une ligne hertzienne, il y a de très fortes chances que ce message arrive déformé. Les conséquences peuvent être fort graves, et tous les utilisateurs des téléphones parisiens savent que l'on peut diminuer les chances d'erreurs de deux façons fort simples : l'émetteur peut *ou bien* répéter plusieurs fois ce qu'il a dit, *ou bien* faire répéter par le récepteur et — selon le cas — ou bien confirmer qu'il a été bien entendu ou bien se répéter. Malheureusement, le prix à la minute

de la location des lignes téléphoniques est très élevé, et il serait très souhaitable de ne pas avoir à recourir à la répétition pour diminuer la fréquence des erreurs de transmission. Ce que Shannon a imaginé, c'est la possibilité d'arriver au même résultat par une méthode absolument différente et bien plus économique : Il a montré que, si l'on ajoute au message des symboles dits redondants, on peut en quelque sorte détecter et corriger à l'avance les erreurs de transmission avant qu'elles ne se produisent. Cette possibilité a bouleversé toute notre conception des problèmes de la communication (bien qu'elle paraisse être excessivement lente à en affecter la pratique).

Depuis 1948, le théorème de Shannon a été rigoureusement démontré, on l'a généralisé, on en a fait la théorie de toutes sortes de points de vue. Les mathématiciens peuvent continuer à avoir un intérêt très grand à continuer de s'en occuper ; mais du point de vue des applications pratiques et de la philosophie, ces développements n'ont pas plus de chances d'être intéressants que n'importe quels autres chapitres de la mathématique. Le calcul des probabilités est plein de résultats moins explorés et ayant par suite de plus grandes chances de conduire à des applications nouvelles.

On a espéré à un moment que le théorème de Shannon aurait pu être généralisé de façon plus significative, en l'appliquant aux opérations des machines à calculer automatiques. En effet, ces machines font de temps en temps des erreurs de calcul, dont les conséquences peuvent aussi être très graves. Pour s'assurer contre cela, le seul moyen est de répéter les calculs ; si on peut aussi s'assurer contre les pannes, on fait faire le calcul par deux machines marchant simultanément. Mais c'est là un procédé fort cher, et on a espéré pendant un temps trouver d'autres méthodes permettant de détecter ou de corriger à l'avance les erreurs de calcul comme on corrige les erreurs de communication. Malheureusement, il a été démontré que — sous la forme que cet espoir avait d'abord pris — il était vain, et les nouvelles formes de cet espoir ont rencontré pas mal de scepticisme.

Généralisons encore : Le problème que l'on a réussi à résoudre du point de vue théorique dans le cas de la communication, mais qui reste ouvert dans le cas du calcul automatique, est en somme celui-ci : Est-il possible, lorsque l'on ne dispose que de « parties » sujettes à erreur, de les combiner au cœur d'un « tout » organique pourvu de structures si fortes que les erreurs de fonctionnement des parties pourront être « spontanément » corrigées ? Extraire des cas solubles de ce problème très fondamental est si difficile, que celui qui y arrivera aura renouvelé la théorie de l'information au point d'en faire sans doute quelque chose de tout nouveau.

Autre problème mathématique : on sait que les difficultés de communication entre ces spécialistes sont ce qui a le plus gêné la théorie de la communication dès ses débuts. En général, les mathématiques pures sont exemptes des difficultés dues à l'emploi d'un même terme dans plusieurs sens différents. C'est cependant ce qui est arrivé en ce qui concerne l'utilisation du terme « théorie de l'information » pour désigner les brillants travaux de Kolmogoroff, Sinai et Rohlin sur la théorie ergodique. Le concept d'information, qu'ils utilisent pour résoudre des problèmes jusque-là insolubles, a bien entendu été historiquement suggéré par le travail de Shannon ; mais il y a des liens si ténus entre les résultats des deux groupes d'auteurs qu'il ne s'agit vraiment pas de deux aspects d'une même théorie.

Puisque j'en suis au chapitre de la terminologie, laissez-moi ajouter qu'il ne faut pas oublier que, dans les années vingt, le statisticien anglais Ronald Fisher avait introduit un concept tout à fait différent de celui de Shannon et de son cousin utilisé par Kolmogoroff, mais auquel il trouvait des propriétés qualitatives qui l'ont aussi amené à l'appeler « information ». Si vous demandez à un mathématicien de vous dire ce que c'est que l'information, et s'il vous répond en citant un seul concept, vous devriez vous méfier.

Passons maintenant à la *physique*, qui s'occupe de modèles du monde réel, et doit en cela être plus proche des questions qui se posent en d'autres sciences. Shannon a suggéré dans son grand article de 1948 qu'un rapport pouvait exister entre le concept de quantité d'information et celui d'entropie. C'est même le terme « entropie » qu'il a utilisé pour désigner la quantité d'information. Mais ce n'était pour lui qu'une analogie formelle, qui ne devait pas nécessairement recouvrir de ressemblance profonde. Cependant, après Shannon, beaucoup d'auteurs ont voulu exploiter ce point plus en détail. Brillouin a dit des choses intéressantes à ce sujet, et les admirables travaux de Szilard (1929) ont été réinterprétés en ces termes.

On est même allé jusqu'à dire que le concept d'information était central à la physique, et que, pour établir la thermodynamique statistique de façon à la fois directe et intuitive, il était indispensable d'en faire une application de la théorie de l'information. Cette méthode, souvent attribuée au physicien américain Jaynes, paraît très commode, mais malheureusement elle n'est applicable que si on lui ajoute tant d'entendus et d'hypothèses spéciales, qu'elle en perd son seul intérêt, qui est son aspect intuitif.

En effet, elle repose essentiellement sur un jeu de mots : on peut bien sûr déclarer vaguement que, si les physiciens ne savent rien d'autre d'un système de molécules que la valeur de son énergie totale, il est prudent de considérer que ce système est dans l'état où leur ignorance à son sujet est maximum ; dans cet état, l'« information » représentée par la connaissance exacte de l'état du système atteindrait sa valeur maximum. La méthode basée sur cette idée croit démontrer le deuxième principe de la thermodynamique à partir du concept d'information. Mais en réalité elle introduit ce principe dans la démonstration sous une forme déguisée et la situation est en somme la suivante :

Si l'on veut établir la partie *incontestée* de la thermodynamique, qui est la théorie de l'équilibre, le concept d'information est superflu, et il est même dangereux en ce sens qu'il donne une idée inexacte de la subtilité du sujet. Si au contraire on veut aller au-delà de l'équilibre, il faut qu'on sache que ce domaine est presque totalement inexploré ; il n'y a aucune théorie qui puisse raisonnablement s'appliquer à des choses telles que les systèmes biologiques considérés en tant que systèmes physiques. Il se peut qu'une exploration approfondie du concept d'information se révèle utile ; mais il est franchement imprudent de tenir le monde en haleine pendant qu'on opère une telle exploration, car bien d'autres remèdes ont déjà été essayés en thermodynamique irréversible ; ceux qui ont le mieux réussi sont extrêmement importants mais d'application limitée.

Même si on est optimiste quant à l'avenir des méthodes purement subjectives en physique, on ne doit pas perdre de vue que le concept d'information est bien loin d'épuiser le problème des modèles statistiques dans leurs rapports avec les modèles déterministes de la mécanique. Il y a, comme on le sait bien, contradiction entre ces deux points de vue : l'un considère que, puisqu'un système physique est fait de beaucoup de molécules qui suivent les lois de la mécanique, il serait possible de prévoir le développement futur d'un tel système, à supposer que l'on possède des machines à calculer suffisamment puissantes. L'autre théorie consiste à dire qu'un système physique se comporte comme s'il suivait seulement les lois du hasard — dont l'information est un des aspects. (Le problème est modifié par la mécanique quantique, mais n'est pas aboli.)

Cette dichotomie de la physique nous amène directement à un problème très semblable qui se pose dans le cas de la communication au moyen du *langage naturel.*

Si on demande à ceux qui se qualifient de linguistes en quoi consiste le problème fondamental de leur discipline, on constatera que les réponses seront assez divergentes. Commençons par l'un des extrêmes, qui est l'opinion très respectable de Chomsky, consistant à dire que le but central de la linguistique est de trouver un algorithme permettant de vérifier si une phrase donnée est grammaticale au sens des règles d'une langue donnée. Par algorithme, on entend une suite d'opérations ne faisant en rien intervenir le jugement, donc susceptibles d'être confiées à une machine à calculer, qui répondra par exemple OUI si la phrase est correcte, et NON dans le cas opposé.

Tout le monde est d'accord cependant sur le fait que les règles de la grammaire sont par rapport au discours naturel un peu dans la position des règles de la logique par rapport aux procédés réellement utilisés pour raisonner. En d'autres termes, personne ne songe plus à imiter Boole en utilisant le terme « lois de la pensée » comme titre d'un traité de logique. Par exemple, Chomsky se trouve être le co-auteur d'un article destiné à un Traité de Psychologie Mathématique et relatif à ce qu'il appelle les « modèles des utilisateurs du langage ». — Ceci nous ramène à la théorie de l'information, qui s'est exclusivement attachée aux problèmes des utilisateurs. A cela il y a des bonnes raisons, puisque la grammaire varie beaucoup d'une langue à l'autre, tandis que les propriétés statistiques sont à peu de chose près les mêmes dans les diverses langues. Il en résulte donc que l'on peut donner du discours naturel un modèle statistique qui ne fait pratiquement en rien intervenir la grammaire ; on décrit le discours comme étant une suite aléatoire de signes phoniques ou graphiques. Bien sûr, ce n'est là qu'une approximation, mais elle est suffisamment réaliste et très utile dans beaucoup de contextes ; si l'on accepte cette approximation, il est extrêmement utile de faire appel à la théorie de l'information pour en développer les conséquences. A mon avis (qui n'est pas désintéressé), la plus frappante est la loi des fréquences des mots ; j'en ai suffisamment parlé par ailleurs pour me dispenser d'y insister dans cette communication.

Laissez-moi ouvrir ici une parenthèse concernant les rôles que le modèle statistique joue respectivement pour l'émetteur et le récepteur. Bien sûr, la personne qui émet un mot considère en général que ce qu'elle dit n'a rien d'aléatoire ; bien des personnes se sentent même insultées si on leur apprend que leur discours a des caractères statistiques bien déterminés, qui sont d'ailleurs les mêmes pour les fous et les gens sains d'esprit. Par contre, en ce qui

concerne le récepteur, il ne sait pas en général à l'avance ce qu'il va entendre, et — peut-être faute de mieux — il peut légitimement décrire son ignorance au moyen des lois du hasard. En fait, les lois du hasard sont souvent un meilleur modèle de l'ignorance que les lois de la logique ne le sont de la pensée organisée.

Il est donc souvent utile de se limiter aux aspects du discours qu'on peut décrire comme une suite aléatoire de signes ; il est très important alors, essentiel même, d'exploiter à fond le concept d'information. J'ai consacré assez de travaux à ce sujet pour que l'on me dispense de donner des preuves de ma conviction. Mais — encore une fois — ce qui à mon avis doit le plus intéresser le philosophe dans ce contexte, ce sont tous les multiples et divers rapports entre la grammaire et le hasard, entre la structure et le désordre.

Je crois que le temps commence à presser. Dispensez-moi donc de continuer ma promenade à la recherche des applications de la théorie de l'information, et laissez-moi développer le problème du hasard et de la structure dans un contexte en apparence très différent, mais auquel je consacre en ce moment la plus grande partie de mes recherches. Il s'agit du problème des prix sur les marchés spéculatifs. Pour ne pas éveiller l'espoir de gains faciles et rapides, je considérerai le cas du coton, dont les prix sont maintenant très contrôlés par suite des lois américaines destinées à protéger les revenus des paysans. Avant ces lois, cependant, les prix du coton fluctuaient follement, et beaucoup de gens se sont ruinés ou ont fait fortune en spéculant là-dessus.

Si l'on regarde les graphiques décrivant le phénomène qui nous intéresse, je suis sûr que l'on ne trouvera aucune utilité à prétendre d'après Laplace que, si l'on connaissait en complet détail l'état du monde à un instant donné, on pourrait prévoir le prix auquel le coton sera demain vendu. Cependant, il y a maintes personnes qui croient possible de prévoir ce prix approximativement, et qui sont prêtes à prouver leur foi en risquant leur fortune. Les économistes ne sont pas du tout de cet avis, et ils prétendent au contraire que le prix actuel du coton escompte automatiquement tout ce que l'on peut savoir de l'avenir, par exemple les conditions atmosphériques, démographiques, politiques et autres. Dans ces conditions, le prix du coton ne peut changer que par suite de changements imprévisibles des conditions générales du marché ; il s'ensuivrait que le mieux est de considérer que les changements du prix du coton sont aléatoires. La formule la plus simple, suggérée en 1900 par Louis Bachelier, est de supposer que le changement de prix entre un instant

et le suivant est même indépendant de tout ce que l'on sait du passé ; c'est ce modèle que je m'attache à développer.

Ces deux modèles — respectivement déterministe et purement aléatoire — sont bien entendu incompatibles, mais il y a de fortes chances que la meilleure description des faits que l'on doive légitimement espérer soit un mélange des deux. Dans l'immédiat, c'est le modèle statistique qui paraît le plus proche des faits ; si proche même que je serais tenté de lui attribuer une valeur supérieure à celle des raisonnements économiques par lesquels il a d'abord été motivé. Mais — encore une fois — ce qui nous intéresse ici, ce n'est pas le problème des prix du coton, mais l'interaction entre divers modèles, ainsi que le fait, sur lequel je veux insister, que personne n'a sérieusement suggéré le concept d'information de Shannon pour étudier la forme que cette interaction prend dans le cas de l'économique.

J'en arrive à ma conclusion. En écoutant les conférenciers qui m'ont précédé ici, et ayant participé à bien des réunions similaires, j'ai acquis la ferme impression qu'il n'est plus très utile de tenir de tels colloques dans la mesure où on veut s'en tenir au concept d'information pris dans un sens strict quelconque. La portée de ces sens stricts semble en effet avoir été suffisamment exploitée pour que ses conséquences faciles soient acquises. Le reste paraît si dur qu'on ne peut en discuter utilement qu'en privé.

Cependant, je ne veux pas m'engager à évaluer l'importance des réunions consacrées au concept d'information au sens large et flou. Il est très fréquent que des similitudes, qui ne paraissent à certains que des jeux de mots, se révèlent découvrir des réalités importantes. Spéculer là-dessus donne de bonnes chances de faire fortune ou faillite, mais n'est sûrement pas une bonne manière de s'assurer un revenu régulier.

Il y a un danger à être trop puriste et à trop vouloir restreindre le sens d'un terme suggestif : on conclurait ainsi très vite qu'il n'y a pas beaucoup de problèmes communs aux diverses disciplines scientifiques. Je ne suis pas d'avis que l'idée d'information soit encore le terrain de rencontre très fructueux qu'elle a été ; mais, si on n'arrive pas à inventer un terrain de rencontre nouveau, il vaut mieux se contenter des anciens que d'admettre que les diverses sciences sont des mondes sans contacts. Bien sûr, j'ai un faible sans illusions pour un terrain de rencontre classique, celui offert par la thermodynamique statistique. Mais il est malheureusement clair que ce domaine est passionnant dans la mesure même où il est incompris — et pas seulement des étudiants en

sciences. Pour revenir à la théorie de l'information au sens strict, lorsqu'on me demande aujourd'hui comment l'apprendre pour pouvoir participer à des activités inter-disciplinaires, je réponds sans hésitation que ce n'est plus vraiment la peine de l'apprendre.

Après sa conférence, M. Mandelbrot a remis aux organisateurs du Colloque la Note bibliographique que voici :

« Je ne crois pas qu'il m'appartienne de donner ici une bibliographie des ouvrages de base sur la théorie de l'information. Je me bornerai aux références de ceux de mes travaux auxquels j'ai fait allusion dans ma conférence.

Sur la théorie des fréquences des mots : *Logique, langage et théorie de l'information* (avec L. Apostel et A. Morf), Paris, Presses Universitaires, 1957 (épuisé). « On the theory of word frequencies and on related markovian models of discourse », *Structure of language and its mathematical aspects* (volume dirigé par R. Jakobson), Providence, R. I. (U. S. A.) American Mathematical Society, 1961. « Les constantes chiffrées du discours », *Encyclopédie de la Pléiade : Linguistique* (volume dirigé par A. Martinet), Paris, Gallimard.

Sur la non-applicabilité de la théorie de l'information à certaines lignes téléphoniques : « A new model for error clustering in telephone circuits » (avec J. M. Berger), *I. B. M. Journal of Research and Development* (juillet 1963).

Considérations statistiques sur certains circuits neurophysiologiques : « Random Walk models for the spike activity of a single neuron » (avec G. L. Gerstein), *Biophysical Journal* (janvier 1964).

Sur les difficultés de la théorie de l'information en thermodynamique : « The role of sufficiency and estimation in thermodynamics », *Annals of Mathematical Statistics* (septembre 1962). « The concept of information and statistical mechanics », *Information and Control* (à paraître).

Voir aussi : « On the derivation of statistical thermodynamics from purely phenomenological principles » *Journal of Mathematical Physics* (février 1964).

Sur les relations entre les concepts de structure et de hasard (les deux articles qui suivent contiennent également une biographie complète) : « New methods in statistical economics », *Journal of Political Economy* (octobre 1963) ; « Sur

l'épistémologie du hasard dans les sciences sociales : invariance des lois et vérification des prédictions », *Encyclopédie de la Pléiade : Logique, épistémologie, méthodologie* (volume dirigé par J. Piaget), Paris, Gallimard.

Sur le prix du coton et sur la spéculation : « The variation of certain speculative prices », *Journal of Business of the University of Chicago* (octobre 1963).

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

La discussion générale est ouverte sur la communication de M. Mandelbrot, qui est un peu l'explosion espérée par M. Guéroult hier soir, et qui donne beaucoup à réfléchir.

La parole est à M. MacKay.

M. MACKAY.

Il serait utile de faire une classification des concepts dans ce domaine pour mettre de l'eau sur la bombe de M. Mandelbrot. Nous nous sommes rencontrés pour discuter le concept d'information.

C'est un concept qualitatif qu'on pourrait peut-être décrire comme « ce qui détermine une forme ». Je ne veux pas énoncer une loi mais seulement délimiter une branche d'idées. Il intéresse les scientifiques de faire une mesure de ce processus de détermination de formes ; et les scientifiques ont défini un concept entièrement différent : *quantité* d'information.

Il y a deux méthodes entièrement différentes pour rendre ce concept quantitatif ; la méthode de Shannon consiste à demander quelle est l'imprévisibilité du procédé de détermination. L'imprévisibilité — *the unexpectedness* — est la moyenne du logarithme de l'improbabilité, c'est un concept tout à fait innocent, tout à fait mathématique et qui n'a rien du tout à faire avec le concept d'information excepté qu'il mesure l'imprévisibilité *de* l'information.

Il y a aussi une autre méthode d'approche qui consiste à demander quelle est la structure de la forme déterminée. Là, Gabor a suggéré la mesure de logons, par exemple, mais ce n'est pas important pour l'instant ; ce que je veux dire, c'est que les remarques de M. Mandelbrot s'appliquent non pas au concept d'information ni au concept de quantité d'information, mais seulement au concept d'imprévisibilité pris (par erreur) comme définition d'information.

Donc, il me semble que notre colloque garde la même importance qu'avant l'exposé de M. Mandelbrot.

Mais il est valable et important qu'il nous ait démontré les limitations du concept d'imprévisibilité comme explication du concept d'information. Si nous discutons maintenant de cela, je crois que notre colloque sera en bonne voie et très intéressant, même pour des philosophes.

M. MANDELBROT.

Je vois mal en quoi on facilite la définition de l'information en parlant ici de « ce qui détermine une forme », car je ne sais pas de façon précise ce que « forme » veut dire. Je trouve bien entendu que si le terme « information » est utilisé dans un sens très, très général, il peut conduire à des remarques très fructueuses ; mais je ne vois pas ce que l'on ajoute à ce concept en le subordonnant à celui de « forme ».

Quant à la mesure du degré de structure, due à Gabor, c'est une chose importante dans son contexte, mais aussi spéciale, aussi particulière que l'information de Shannon. Il y a bien d'autres manières encore de définir des informations spécialement appropriées à des questions données. Par exemple, Schutzenberger a donné une axiomatique qui réunit les concepts de Shannon, de Fisher et de Wald, et en fait des cas particuliers d'un concept plus général, qui contient encore d'autres membres intéressants, mais reste moins général que le concept unique de quantité d'information que vous avez invoqué dans vos remarques.

M. MACKAY.

Je veux simplement dire que le concept d'information a beaucoup d'implications qualitatives, est associé aux notions de codage, de redondance, et le fait que Shannon a précisé une mesure de l'*imprévisibilité* de l'information ne devrait pas nous rendre aveugles aux autres aspects dans lesquels je crois que les biologistes et les physiologues et physiciens trouvent plus d'intérêt.

M. MANDELBROT.

J'en conviens volontiers.

M. MACKAY.

Nous avons donc beaucoup à discuter, mais il m'a semblé, après votre intervention, que nos collègues philosophes éprouvaient une impression...

M. MANDELBROT.

J'ai principalement voulu attirer l'attention sur le danger des panacées universelles ; il arrive rarement qu'en empruntant un concept déjà mathématisé, on arrive à comprendre automatiquement d'autres domaines encore inexplorés. Dans le cas présent, il se trouve de plus que le remède n'a pas été aussi efficace dans son domaine d'origine qu'on l'avait espéré.

Il n'y a aucun doute qu'il y ait un nombre illimité de problèmes concernant l'information, la structure, la forme et tous ces termes mal définis mais très utiles.

Certains de ces problèmes pourront être traités scientifiquement par des méthodes sans intérêt en dehors de leur spécialité ; d'autres peuvent avoir une signification plus générale.

Si j'ose dire, un des outils les plus puissants de la science, le seul universel, c'est le contresens manié par un chercheur de talent. Il est bon de trouver des solutions exactes aux problèmes qui se posent, même si la solution a été basée sur une évaluation incorrecte de ce que d'autres savants voulaient faire en d'autres contextes.

Si on prend le terme d'information au sens le plus précis, la question de son utilité peut être réglée de façon très claire. Mais si on le prend au sens le plus vaste, je pense que l'on peut encore apprendre si on en discute avec ses collègues d'autres disciplines ; je trouve qu'on peut exagérer dans la ligne des reproches que M. Lwoff a adressés à un conférencier précédent.

M. MACKAY.

Ce que je voulais rendre clair, c'était que Shannon n'a jamais défini un concept d'information ; il a nié explicitement que ce concept était *information*. Ce serait beaucoup plus clair, je crois, si nous appelions la mesure de Shannon imprévisibilité plutôt qu'information. Il n'a pas défini un concept d'information.

M. MANDELBROT.

C'est trop tard, je crois, pour changer de terminologie. On peut d'ailleurs se demander si la théorie de l'information aurait joué le grand rôle qui a été le sien si elle avait porté un nom moins alléchant.

M. FESSARD.

Je suis tout à fait d'accord avec M. MacKay, et je voudrais simplement dire que, pour nous, biologistes qui ne cherchons pas, tout au moins en première approximation, à faire des mesures soit d'imprévisibilité soit d'autres aspects de l'information, cette notion d'information, avec toutes les exagérations sans doute dont vous nous avez montré l'existence, a été très utile, et est encore très utile.

Elle a introduit dans nos manières de penser, dans nos manières de parler, des notions comme celle de codage, comme celle de redondance, comme celle de bruit, comme l'importance même du dénombrement des éléments discernables d'un complexe.

Nous n'avions peut-être pas besoin du mot information pour cela. Mais cela nous a aidés à comprendre l'importance de ces notions qui, chez les non-physiciens, étaient restées très vagues ; et je crois que c'est à mettre au crédit de cette méthode.

Pour le reste, je suis d'accord avec ce que vous avez dit, et je vous remercie même de nous avoir éclairés sur les excès de l'emploi qu'on fait de ce terme d'information.

M. MANDELBROT.

Je n'ai aucune raison (et ce serait de la simple ingratitude de ma part) de nier l'importance en leur temps des travaux de Shannon, de Wiener, et de maints autres. Ils n'ont pas seulement élargi l'horizon des biologistes, mais aussi celui de bien d'autres savants, et ils ont aidé dans beaucoup de cas à commencer la mathématisation de disciplines qui y étaient assez résistantes. Qu'importe aujourd'hui que des contresens aient joué leur rôle.

Je voudrais ajouter quelques mots concernant le rôle inter-disciplinaire qui a été joué pendant un temps par la théorie de l'information. Il est fascinant pour des gens comme moi de pouvoir participer à de telles entreprises ; mais il

faut que l'on sache qu'elles n'ont par définition qu'un temps. Certaines, comme la physico-chimie, atteignent un âge adulte, avec leurs méthodes, leur enseignement propre, etc. ; donc elles deviennent des disciplines comme les autres. D'autres entreprises interdisciplinaires n'atteignent jamais cet état et elles épuisent leur impulsion initiale tout en contribuant au progrès d'autres sciences plus stables. On doit alors se demander s'il est utile de revenir sur les liens déjà assez bien compris, ou s'il ne vaut pas mieux conserver son intérêt pour de nouvelles entreprises. Après tout, malgré l'optimisme de certains discours académiques, la tendance actuelle est nettement vers une spécialisation de plus en plus poussée.

Revenons aux questions de codage dans leur application à la génétique. Autant que je sache, c'est là un problème très ouvert, et il est très important de découvrir des codes susceptibles d'expliquer les faits. Mais cette entreprise interdisciplinaire ne doit faire intervenir que des biologistes et des algébristes qui n'ont pas besoin de connaître de la théorie de l'information autre chose que quelques définitions simples.

M. LWOFF.

Je voudrais ajouter une petite précision au tableau de M. MacKay : les thermodynamiciens et les physiciens ont essayé à un moment de calculer l'entropie négative c'est-à-dire l'ordre des organismes vivants et ils sont arrivés à la conclusion qu'il est absolument impossible d'appliquer cette formule donnant l'improbabilité aux machines vivantes.

Brillouin a proposé d'introduire la notion de valeur et de fonction dans l'information des êtres vivants : je crois qu'on ne peut pas considérer seulement une structure dans un être vivant mais il faut aussi et nécessairement considérer ses fonctions et son évolution ; donc je voudrais simplement proposer d'ajouter la fonction et la valeur de la structure en tant que déterminant la valeur fonctionnelle de l'organisme.

M. MACKAY.

Il faut dire que Brillouin s'est trompé en parlant d'information absolue.

Le concept *I* doit être défini relativement à un corps d'évidences ; et si l'on prend l'évidence thermodynamique ici, alors le facteur *quantité I multiplié par k* de Boltzmann donne *entropie*. Mais, en général, le corps d'évidences qui détermine les valeurs de *I* n'est pas thermodynamique. Donc, si l'on considère les êtres vivants pour lesquels subjectivement il y a des probabilités d'événements naturels, la quantité estimée de cette formule ne correspond pas du tout à l'entropie. Je crois que si les mécaniciens s'intéressent à l'entropie physique d'un mécanisme, soit vivant soit non vivant, alors s'ils emploient l'évidence thermodynamique pour calculer *HP*, la quantité est la même, et il n'y a pas de problème.

M. COUFFIGNAL.

Je crois que les difficultés qu'a signalées M. Mandelbrot, qui sont très réelles, tiennent à ce qu'on veut persister à utiliser le mot information avec toutes les idées qui en résultent en arrière-pensée et que la question serait très clairement résolue si on donnait un autre nom à la fonction de Shannon.

Je vais prendre un exemple comparatif ; il y a quelque soixante-dix ans, presque cent ans, est née la théorie des vecteurs ; cette théorie est née à partir de la dynamique, de la notion de force.

Pendant trente ans, quand on utilisait la théorie des vecteurs pour autre chose que des forces, on faisait une analogie et on parlait du vecteur force, alors qu'en réalité ce vecteur représentait autre chose. On a même parlé à un moment de représenter par ce moyen-là la force morale.

Puis la théorie s'est clarifiée et on a fait une théorie purement mathématique des vecteurs.

Cette théorie s'est développée par des moyens purement mathématiques bien au-delà de ce qui était nécessaire pour représenter des systèmes de forces de telle sorte que les différents systèmes physiques qu'on a représentés par des vecteurs ont utilisé certaines propriétés et uniquement un petit nombre de propriétés parmi celles que les mathématiciens avaient dit que les vecteurs possédaient.

A tel point que Heaviside a pu poser cette question qui actuellement nous parait absolument saugrenue : « Comment se fait-il qu'un être qu'on représente par un vecteur n'ait pas toutes les propriétés des vecteurs ? »

Ici, nous sommes dans la même situation.

A propos de la transmission des messages, Shannon a défini une fonction, la fonction $H = \Sigma p_i \log p_i$; cette fonction en tant que fonction mathématique, peut recevoir les développements extrêmement considérables et, dans l'esprit du

physicien, à partir de ce modèle mathématique abstrait, purement mathématique, il reste à chercher quels sont les domaines dans lesquels il peut trouver application et efficacité.

Une idée m'a été suggérée par l'ouvrage de M. Bonsack ; il a mis en évidence que cette fonction peut s'appliquer de deux façons à un ensemble d'objets, qui, dans le cas de l'information, est un ensemble de signaux en cours de transmission :

On peut ou bien porter son attention sur la structure de l'ensemble et la fonction H représente alors ce qu'il a appelé la variabilité ou bien on peut porter son attention sur un sous-ensemble considéré comme élément ; et alors on a une autre interprétation très générale que M. Bonsack a appelée la spécificité.

Sur ces bases, M. Moles a fait une application à des ensembles d'êtres non plus en mouvement et en cours de transmission, mais fixes et qui n'ont plus rien de commun avec l'information de Shannon, par exemple l'ensemble des pièces qui se trouvent dans le magasin d'une usine ou l'ensemble des articles qui se trouvent dans une magasin de commerce.

On peut appliquer la formule de Shannon et calculer le nombre de Shannon et M. Moles a donné une interprétation qu'il a appelée la « complexité du système », à laquelle il cherche une signification disons technique, une signification de valeur commerciale ou de valeur industrielle concernant la gestion des stocks. Par conséquent, il y a à partir de cette fonction des possibilités d'interprétation extrêmement nombreuses dans le monde physique, et il y en a une du point de vue de la biologie qui, je crois, est intéressante : Mac Cullogh et Moles sont arrivés à ce résultat, par des procédés différents, que la capacité du canal constitué par le système nerveux est beaucoup plus grande que la quantité de signaux qui peuvent être présentés par le système sensoriel et que l'on peut conclure — ceci étant un raisonnement analogique — que l'esprit humain a très peu de risques d'être submergé par la quantité d'informations qu'il recevra. Ceci est une conséquence qui est dans l'esprit de l'application de modèles mathématiques à la réalité, c'est-à-dire qu'il fait une suggestion d'une vérité possible ; il reste ensuite à voir expérimentalement si cette vérité possible est une vérité existante.

Par conséquent, je crois que la fonction de Shannon peut avoir son utilité ; elle devrait entrer dans le domaine des études des mathématiciens en tant que mathématiques appliquées, être développée à ce point de vue pour être mise à la disposition des physiciens, des naturalistes, des techniciens comme un modèle représentant des choses qu'il appartient à chacun dans sa spécialité d'interpréter et, après avoir fait une interprétation, de s'assurer que cette interprétation est valable, est efficace et féconde pour la recherche.

J'ajouterai que M. Bonsack a eu cette idée et je crois pouvoir dire qu'il n'a pas osé la mettre dans le texte de son livre ; il en a fait une annexe, donnant le nom d'*entaxie* à la fonction de Shannon.

Comme on étudie la théorie des vecteurs en mathématiques pour s'en servir en physique, en mécanique, dans des domaines divers, je crois que la véritable position, vis-à-vis de la théorie mathématique de l'information, c'est d'étudier la fonction d'entaxie dans tous ses développements mathématiques pour les mettre à la disposition des physiciens, des naturalistes et de tous ceux qui voudront bien s'en servir.

Le mot vecteur est entré dans les mœurs une bonne trentaine d'années après que la notion a été dégagée de la notion de force. D'ailleurs, on peut dire que toutes les notions générales naissent à propos d'un cas particulier ; on en fait d'abord une utilisation par analogie en gardant la terminologie de son premier domaine, après quoi on découvre qu'il y a une théorie plus générale, généralement mathématique d'ailleurs, et on constitue cette théorie mathématique en soi ; puis elle est à la disposition de qui veut s'en servir.

M. MANDELBROT.

Je crois être d'accord avec vous, mais — comme je l'ai déjà dit en répondant à M. MacKay — je crois qu'il est désespéré de vouloir changer de terminologie à ce stade.

M. RICHARD.

Il y a en psychologie un domaine où l'on retrouve l'opposition que vous avez signalée en physique, en particulier dans le domaine de la thermodynamique, c'est le problème des modèles mathématiques d'apprentissage où l'on voit s'opposer d'une part des modèles déterministes et d'autre part des modèles stochastiques ; le modèle déterministe, en gros, consiste à dire qu'à chaque renforcement, à chaque succession d'une réponse à un signal, on augmente la liaison d'une certaine quantité, et cette quantité est une fonction du nombre de renforcements ; il reste à expliquer les variations

qu'on observe en cours d'apprentissage ; on les explique en supposant qu'il y a un seuil de réaction qui peut osciller, de sorte que, à certains moments, si la quantité de renforcement est augmentée, si le seuil s'est élevé, on n'aura pas de réponse, alors que précédemment, même si la quantité de renforcement était plus faible, si le seuil était plus bas, on observait dans ce cas une réponse ; alors que d'autre part le modèle stochastique suppose que le processus d'apprentissage est foncièrement probabiliste.

En supposant que percevoir un élément signifie échantillonner, dans un ensemble infini possible, un échantillon fini d'éléments, les éléments perçus étant liés à la réponse, on observe que dans ces modèles stochastiques on rencontre une difficulté : on s'aperçoit que l'hypothèse essentielle c'est qu'à chaque perception on échantillonne un nombre fini d'éléments et les échantillonnages successifs sont indépendants.

Il semble que ce postulat présente une difficulté dans les vérifications expérimentales des modèles ; il me semble que la notion d'imprévisibilité du signal pourrait être importante ; on pourrait dire que la probabilité de percevoir un élément est une fonction inverse de son imprévisibilité ; il me semble qu'à l'intérieur des modèles stochastiques, on pourrait introduire cette notion d'imprévisibilité qui, à mon avis, pourrait lever un certain nombre de difficultés dans l'application de ces modèles-là et peut-être élargir leur champ d'application. On observe que ces modèles ne s'appliquent que quand on traite une quantité d'information extrêmement faible, c'est-à-dire comprenant en général deux signaux et deux réponses : le nombre de choix possibles est extrêmement limité. Si on augmente le nombre de choix possibles, les hypothèses faites par ces modèles ne sont pas vérifiées expérimentalement ; il me semble que, dans ces cas particuliers, le fait qu'on soit arrivé à l'opposition entre modèles déterministes et modèles probabilistes ne supprime peut-être pas le profit de l'utilisation de la notion des quantités d'information telle qu'elle est définie par la fonction de Shannon.

M. MANDELBROT.

C'est très possible, je n'ai pas d'idées personnelles sur cette question, mais je suis convaincu que toutes les disciplines, en sciences humaines aussi bien que naturelles, se doivent d'utiliser les concepts mathématiques appropriés y compris l'information. Mais chaque problème qui se pose doit être considéré en soi.

Mais il s'agit en chaque cas d'une question nouvelle ; il faut recommencer à faire le travail, il faut vérifier attentivement s'il s'agit de concepts appropriés ou pas.

M. ROSENBLITH.

Je vois que je n'ai nullement besoin de défendre Shannon et Wiener parce que personne ne les a attaqués ; personne n'a contesté le succès et l'énorme effet historique qu'ils ont eu sur divers domaines de la science. Et la question qui se pose maintenant est de savoir s'il est raisonnable d'espérer qu'on puisse acheter un modèle Shannon dans les soldes, pour ainsi dire. Ces modèles, quand on les utilise « tels quels », c'est-à-dire sans faire les rapprochements nécessaires avec les faits expérimentaux, aboutissent souvent à des mirages. Il faut se rappeler qu'un modèle nous apprend le plus quand, après des succès initiaux, il cesse de « marcher ». C'est alors qu'on doit se pencher sur les mécanismes, ceux qu'on a postulés et ceux qui paraissent être à l'œuvre.

Par exemple, pour en rester au langage, nous avons vu que le Bell System Américain a amélioré le téléphone en utilisant simplement l'analyse de Fourier pour les sons du langage ; à un moment donné, tout le monde était désireux d'analyser les sons du langage par l'analyse de Fourier, bien que cela ne donnât presque rien au point de vue de l'information obtenue dans le langage. Alors est arrivée la théorie de l'information ; c'était du progrès bien que ce fut encore une approximation d'ingénieur ; mais au contact de la linguistique avec la théorie de l'information est née la théorie de Jakobson et de Halle qui nous a donné des vues nouvelles et révélatrices sur les relations informationnelles entre les sons d'une langue déterminée. Si l'on ajoute la théorie qu'a construite Chomsky, on s'aperçoit où en sont arrivés ceux qui n'étaient pas satisfaits des résultats de l'analyse de Fourier ; et je crois que les choses se passent à peu près ainsi dans le domaine de l'information ; si au début, à tout hasard, on essaye de prendre le modèle de Shannon et de dire « si cela me donne quelque chose, je peux peut-être acheter quelque chose pour rien » c'est très bien. Mais il faut se méfier, car cela risque de ne pas marcher et de nous faire oublier qu'il y a d'autres méthodes par lesquelles on peut approcher les problèmes qui nous intéressent. Et je crois que c'est la seule conclusion que notre ami Mandelbrot a voulu tirer.

M. MANDELBROT.

Je suis absolument d'accord avec vous, et c'est à dessein que j'ai mis le mot « encore » dans le titre de mon exposé ; il n'y a *aucun* doute sur le rôle historique de la théorie de l'information : en « rentrant dans le rang », comme j'ai dit au début de mon exposé, elle est devenue une parcelle de notre héritage intellectuel à tous, ce qui est la seule forme d'immortalité pour une théorie. De plus, vous avez excellemment résumé le but principal de mon exposé et je vous suis très reconnaissant de votre intervention.

Maintenant, une remarque sur le Bell System : je trouve qu'il a fait preuve d'une ingratitude colossale à l'égard de Shannon, peu de temps après qu'il ait quitté les Laboratoires de cette Société de téléphones pour une chaire du Massachusetts Institute of Technology. En effet, le numéro qu'il fallait autrefois former pour avoir un renseignement était 411, qui est court comme il se doit pour un message fréquent ; maintenant, si on habite la banlieue de New York, et que l'on veuille un renseignement, il faut former 112 212 555 1212 ! Il n'y a donc aucun doute que même les applications techniques les plus élémentaires de la théorie du codage sont encore mal appréciées dans certains cas pratiques.

Les premiers mots de mon exposé me dispensent je crois d'avoir à faire une conclusion proprement dite. Laissez-moi donc finir en souhaitant que les fondements des modèles stochastiques deviennent beaucoup mieux connus des savants et des philosophes. Il est presque insultant pour les psychologues et les sociologues de ne les initier qu'aux parties de la statistique à la fois les plus difficiles et les plus contestables. Les éléments d'unité entre les diverses applications se trouvent beaucoup moins dans les détails que dans les structures fondamentales, dont la théorie de l'information est bien entendu une, même si elle ne paraît plus aujourd'hui être parmi les plus importantes.

M. LE PRESIDENT.

Je remercie M. Mandelbrot.

L'HOMME ET LA MACHINE

NORBERT WIENER
Massachusetts Institute of Technology
Président : M. ALQUIE

M. LE PRESIDENT.

Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs, nous ouvrons cette nouvelle séance où M. Wiener va prendre dans un instant la parole. Je n'ai pas besoin de présenter ici M. Wiener ; tout le monde sait le rôle éminent qu'il a joué dans les questions qui sont l'objet de ce Colloque ; je tiens seulement à dire quelle joie nous avons à le recevoir, quel honneur il nous a fait en venant.

Je voudrais avant de lui donner la parole la donner à M. Simondon quelques instants pour qu'il vous présente de façon un peu plus technique que je ne saurais le faire moi-même, l'orateur et qu'il vous dise un mot de son œuvre éminente qu'il a réalisée dans ce domaine.

M. SIMONDON.

Il est en effet très important de noter que l'ouvrage « *Cybernetics, Theory of Control and communications in the animal and the machine* » a joué, en France, un rôle important lorsqu'il a été publié en 1948. On a senti aussitôt qu'il s'agissait là de quelque chose de neuf qui apportait le point de départ d'une nouvelle ère de réflexions. Certains ont pensé que c'était un renouveau de cartésianisme, d'autres ont senti qu'il y avait une volonté de constituer une unité des sciences alors que tout le début du XXe siècle avait manifesté une séparation de plus en plus grande entre les spécialisations scientifiques ; après la seconde guerre mondiale, il est arrivé que les *no man's lands* entre les sciences, les *boundary régions*,

comme les appelait Norbert Wiener dans la préface de *Cybernetics*, étaient considérées comme des domaines extrêmement féconds ; et, alors que la spécialisation scientifique empêchait les possibilités de communication, ne serait-ce qu'à cause de langages différents entre spécialistes de différentes sciences, la cybernétique était au contraire le fait de plusieurs hommes travaillant en équipe et s'entraînant à entendre le langage les uns des autres. C'est ainsi que vous présentiez la première équipe de la *Cybernétique* avec par exemple Rosenblueth de l'Institut de Cardiologie ; la présence de médecins, de physiciens et de très éminents mathématiciens, au sein de cette équipe, montrait qu'il se produisait dans le domaine des sciences quelque chose qui n'avait sans doute pas existé depuis Newton puisque, disiez-vous, c'est Newton qui peut être considéré comme le dernier homme de science ayant couvert le domaine entier de la réflexion objective. C'est donc peut-être une nouvelle étape du devenir des sciences qui s'est ainsi amorcée et voilà pourquoi sans doute le Comité des Colloques philosophiques de Royaumont a estimé qu'il serait utile qu'une rencontre devant des philosophes et entre des hommes de science, et aussi entre hommes de science et philosophes, puisse prendre pour thème la communication et l'information. En effet, historiquement, la cybernétique est apparue comme quelque chose de nouveau, voulant instituer une synthèse ; en somme, nous nous trouverions reportés en arrière, au temps de Newton ou au temps où de grands philosophes étaient mathématiciens ou savants dans les sciences naturelles et inversement. Voilà sans doute le contexte dans lequel il est possible d'écouter ce que maintenant va nous présenter le professeur Norbert Wiener.

M. WIENER.

Je ressens beaucoup de plaisir et d'honneur d'être ici dans un groupe aussi distingué. J'espère que vous pardonnerez les défauts de mon français, mais je préfère parler en français ici, en France, plutôt que faire la conférence en anglais.

Je parlerai des relations entre les machines et l'homme, et je commence par le point de vue des machines qui apprennent — parce qu'il y a des machines qui apprennent. Il y a quelques années déjà qu'on a construit une machine pour jouer aux dames ; on veut construire aussi des machines pour jouer aux échecs, mais le problème est plus difficile ; la complexité des échecs est beaucoup plus grande. Même le jeu de

dames est suffisamment complexe pour être intéressant et non trivial. Les machines à jouer aux dames commencent par jouer selon certaines règles. On donne alors une évaluation des mouvements, qui, pour commencer, est fixe. Cela vaut d'avoir la mobilité, d'avoir un nombre plus grand de pièces, de pouvoir commander autant de carrés que possible, et ainsi de suite. Ces quantités se peuvent mesurer numériquement et pour chaque jeu on peut déterminer toutes les possibilités selon les règles, et entre les possibilités on trouvera un mouvement avec le maximum de valeur et on fera ce mouvement-là. Mais la détermination de la valeur contient quelque chose d'arbitraire ; nous commençons par un choix d'évaluations qui semble raisonnable aux joueurs de dames.

Jusqu'à ce point, on peut construire une machine qui joue aux dames; cette machine, comme toute machine à jouer, paraît avoir une personnalité. Si, par exemple, on joue par correspondance, on ne voit pas qu'il y a une machine mais seulement le jeu-même ; on voit la personnalité du joueur mais elle semble très raide ; une fois qu'on a trouvé la méthode de s'opposer aux mouvements de la machine, elle est toujours valable.

Mais il y a aussi des machines qui changent de personnalité en jouant. M. Samuel, de la Compagnie I. B. M., a construit une telle machine : après un certain nombre de parties, on considère non seulement le jeu que l'on fait à partir des règles, de l'évaluation déjà faite, mais quelle évaluation serait la plus favorable pour gagner, pour le jeu déjà fait, c'est-à-dire que les mouvements qu'on observe entre les jeux gagnants sont choisis et les autres rejetés. On donne une réévaluation numérique des quantités indiquant la mobilité, la maîtrise des lieux, le nombre de pièces, et on continue à jouer avec cette évaluation nouvelle. Et au bout d'un certain temps, on la reconsidère, depuis que le jeu nouveau a été fait ; et ainsi de suite.

Autrement dit, après un certain temps la machine est vraiment une machine nouvelle, la personnalité change. Les jeux de l'adversaire qui ont eu du succès jusqu'alors cessent d'avoir le même succès ; en considérant la personnalité de la machine, on observe que la machine apprend et que sa personnalité se développe. La personnalité n'est plus raide.

Il y a des machines qui apprennent et on en a fait avec bien du succès. M. Samuel a dit qu'après un certain temps, une heure ou quelques heures, la machine a appris à le battre, mais plus tard il a découvert qu'il avait appris lui-même comment battre la machine et pourtant il avait dit que la machine n'apprenait pas vraiment ; mais ce n'est pas vrai :

apprendre ne signifie pas vaincre toujours. Il y avait une période pendant laquelle M. Samuel a dû apprendre lui-même à jouer mieux ; c'est une indication que la machine a vraiment appris comment jouer.

Il y a donc des machines qui apprennent ; c'est plus difficile à réaliser dans les échecs à cause de la diversité des mouvements et de la différence du but, au commencement, au milieu du jeu et à la fin. Pour faire une machine qui apprenne bien à jouer aux échecs, il faut la considérer différemment, aux diverses périodes du jeu. Mes amis qui sont des experts au jeu des échecs pensent que dans dix ans ou vingt-cinq ans on aura des machines expertes, mais en ce moment les machines sont des joueurs très moyens.

Cette idée de construire des machines qui apprennent est très générale. On peut l'employer dans les machines pour traduire une langue, dans les machines pour jouer au jeu de la guerre et pour les affaires. Mais il y a des difficultés et des considérations très intéressantes. Aux échecs, aux dames, c'est très facile de connaître ce qui constitue un bon joueur ; c'est de gagner selon des règles arbitraires qui existent déjà. Mais qu'est-ce que signifie faire une bonne traduction ? La machine ne peut apprendre que selon une normalisation de l'activité ; pour faire apprendre à la machine, il faut savoir ce que constitue un bon jeu. Dans la langue, l'idéal, c'est d'être compris par les êtres humains ; on ne peut pas séparer la bonté d'action de la machine des valeurs humaines. Théoriquement, on pourrait avoir une théorie complète de la langue ; pratiquement on ne l'a pas. Il faut soumettre l'action de la machine à l'observation des experts pour déterminer si la traduction se comprend ou non.

Il s'agit donc d'un système à moitié mécanique, à moitié humain.

Alors, on a pensé souvent qu'avec l'automatisation il y avait une concurrence entre l'homme et la machine, parce que la machine peut être plus précise dans son action que l'homme, plus rapide, que l'avenir sera pour les machines et non pas pour les hommes. Il y a aussi des mécaniciens qui ont une préférence émotionnelle pour la machine, qui considèrent l'imprévisibilité de l'action de l'homme comme un défaut. Je connais très bien ces gens-là parce que je suis professeur dans une école technique.

Mais pour employer les machines d'une manière raisonnable, il faut penser des systèmes avec des éléments humains et des éléments mécaniques travaillant ensemble, et il faut penser à construire les systèmes en employant les deux éléments, qui soient les plus favorables pour nous ; et je cherche activement dans cette direction non seulement pour les machines à jouer, les machines qui apprennent, mais aussi dans un autre domaine ; je travaille actuellement avec les médecins à l'étude de la prothèse. Quand un homme a perdu un bras ou une jambe, est-il possible de remplacer l'activité perdue des muscles par une activité mécanique ?

C'est parfaitement possible en effet. Par exemple, quand un homme a perdu la main, la plupart des muscles qui contrôlent la main ne sont pas dans la main même mais dans l'avant-bras, entre le coude et la main ; les muscles existent toujours ; on peut extraire des muscles une activité électrique, les potentiels d'action ; ces potentiels sont très petits, mais avec la méthode des transistors on peut l'amplifier et dériver la puissance des batteries.

J'ai eu cette idée il y a plusieurs années et j'ai cherché à la faire exécuter aux Etats-Unis par les médecins, avec peu de succès. Mais il y a deux ans, j'étais en Russie et j'ai entendu une conférence sur l'automatisation et sur le contrôle, sur des bras artificiels de l'espèce dont j'ai parlé. On a obtenu assez de succès pour pouvoir renvoyer les mutilés au travail. Cet appareil fonctionne avec succès parce que les impulsions du système nerveux sont les mêmes qu'avant la mutilation.

J'étais à l'hôpital il y a neuf ou dix mois après un petit accident, étant tombé dans une cave et m'étant brisé la hanche gauche. Naturellement, j'ai parlé avec les médecins orthopédistes. (Il faut que je parle avec les gens autour de moi !) Nous avons discuté la possibilité de tels appareils, et j'ai constaté qu'à cette époque-là ils avaient envoyé un jeune médecin de l'hôpital en Russie dans le but de s'informer autant que possible du travail que font les Russes. Ce jeune homme n'a pas obtenu toute l'information qu'il voulait mais tout de même assez pour savoir que la direction du travail avait eu quelques succès. Heureusement, il était à l'école de Médecine de Harvard quand j'avais fait une conférence sur ce thème, il y a quelques années, et même les Russes ont admis que la direction de ce travail vient de moi. Les médecins ont alors demandé pourquoi nous autres n'avions rien fait à Boston. J'ai répondu : quand je l'ai dit, vous n'avez pas entendu.

Et nous avons commencé à faire ces recherches ; nous avons obtenu l'aide d'une Société d'Assurances. Nous avons commencé à travailler ensemble quand j'étais sur mon lit de malade.

Il y a là des problèmes très intéressants, non seulement pour remplacer le mouvement perdu mais les sensations perdues parce que la main est en même temps un organe moteur et un organe de sensibilité.

Je ne dirai rien des idées que nous avons pour remplacer la sensation, mais nous les avons et le travail continue.

Pendant mon séjour en Europe, je cherche à apprendre tout ce que font les médecins européens dans cette direction. Mais je parlerai ici du système en même temps humain et mécanique, parce que la prothèse est le remplacement mécanique d'un système brisé qui était antérieurement purement humain.

Nous avons ici la même idée que pour les machines qui apprennent. Comment construire des systèmes contenant des éléments des deux types, les éléments humains et les éléments mécaniques ? Il me semble que c'est seulement de ce point de vue que nous pouvons faire une application intelligente des possibilités nouvelles du contrôle de la cybernétique.

Et ici je dois mentionner le danger de l'époque. Comme je l'ai dit, dans une machine à jouer aux échecs ou aux dames, le but est clair, il s'agit de gagner les parties selon les règles ; mais traduire une langue ou jouer à un jeu militaire comporte un but beaucoup moins clair ; une machine à traduire doit être entendue, comprise. Une machine pour gagner la guerre, pour déterminer quand on doit pousser le bouton pour la bombe atomique, pour la guerre atomique, doit gagner la guerre non seulement selon certaines règles arbitraires, mais d'une manière que puisse accepter l'humanité et c'est beaucoup plus difficile. Il est très facile de gagner un jeu seulement comme jeu ; il est très difficile de gagner une guerre sans détruire toutes les valeurs que l'on a, sans détruire l'humanité même.

Nous avons ici une situation bien connue des écrivains, la situation du sorcier ; dans chaque littérature, il y a des contes de sorciers qui arrivent à parvenir au but dont ils sont conscients mais en détruisant les valeurs qu'ils n'ont pas considérées. Vous connaissez tous l'histoire de l'Apprenti Sorcier ; il a appris l'incantation pour faire apporter de l'eau par son balai ; il réussit mais il a oublié comment dire au balai de s'arrêter, et c'est seulement l'arrivée du maître qui le sauve. Il y a aussi un conte anglais d'il y a cinquante ans, *La Main du Singe* ; il s'agit d'un sous-officier de retour des Indes, dans une famille ouvrière en Angleterre ; il montre la main du singe et il dit : Un saint, aux Indes, a donné à cette main la possibilité d'exaucer trois souhaits pour trois hommes ; le premier homme qui avait cette main a dit qu'il ne connaissait pas les deux premiers souhaits mais que le dernier était pour la mort ; lui-même était le second, et il dit que les expériences étaient trop terribles à raconter ; il est sur le point de jeter la main dans le feu quand son hôte lui demande : « Fais le souhait pour deux cents livres anglaises » ; après quelques minutes, un monsieur vient de la fabrique où travaille son fils en disant que son fils a été tué par la machine dans la fabrique et qu'il apporte en contrepartie de sa responsabilité deux cents livres ; alors le prochain souhait est que le fils revienne, et il retourne comme esprit, comme revenant, à la porte ; et le troisième souhait est qu'il s'en aille.

Dans les histoires que j'ai racontées, le principal c'est qu'en sorcellerie on doit toujours demander ce qu'on veut vraiment et non quelque chose qu'on semble vouloir.

C'est la même chose avec l'automatisme moderne ; il est très facile de demander ce qu'on pense vouloir et qu'on ne veut pas. C'est un danger réel, spécialement de nos jours, quand il y a la possibilité d'employer les machines qui apprennent, qui jouent le jeu de la guerre, pour contrôler quand on doit pousser le bouton déclenchant une guerre mondiale.

Le seul moyen de l'éviter est de considérer la machine non comme but en soi-même mais comme un moyen de satisfaire les demandes de l'homme, comme une partie d'un système humano-mécanique. Vous voyez dans quelle direction conduit cette idée ; pour le moment, j'en ai assez dit et je laisse la discussion s'ouvrir.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Au nom de tous, je veux d'abord remercier très vivement M. Wiener de la très belle conférence qu'il vient de nous faire ; vous avez tous pu voir et admirer la clarté avec laquelle il a exposé ses idées, ce qui montre que la profondeur et la clarté peuvent aller ensemble ; nous avons également tous été sensibles à la portée philosophique de cette conférence ; il est très frappant de voir comment un homme qui a consacré sa vie à des études extrêmement techniques peut donner de ces études un résultat si dépouillé et si humain.

La discussion va s'ouvrir.

M. LELIONNAIS.

Je voudrais revenir sur cette belle conférence, ce bel exposé du docteur Wiener pour apporter quelques compléments au sujet du joueur d'échecs automatique. Je fais moi-même partie d'un Comité d'Experts d'EURATOM qui travaille à Ispra pour construire un joueur d'échecs automatique ; nous connaissons tous les travaux américains et soviétiques, nous avons reçu Samuel chez nous parce que naturellement nous nous intéressons aux autres jeux, au jeu de dames qui est beaucoup plus facile, au jeu des ronds et des croix...

M. WIENER.

C'est très facile.

M. LE LIONNAIS.

Mais dans le cas du jeu d'échecs, j'ai été justement amené dans notre Comité à proposer une fonction d'évaluation que nous espérons meilleure que celles qui sont déjà connues ;

notre fonction d'évaluation existe déjà ; nous l'avons appliquée à des parties d'échecs jouées entre des joueurs existants et elle permet une évaluation assez intéressante. Nous évaluons le matériel, l'espace et le temps, mais c'est très insuffisant, aux échecs, parce qu'il y a des situations pour lesquelles la fonction n'est pas bonne ; nous savons que la fonction que j'ai fabriquée et que nous perfectionnons, même lorsqu'elle sera une bonne fonction, ne sera valable que dans les *parties* d'échecs mais pas dans les *problèmes* d'échecs. Vous connaissez la différence. Si nous donnons un problème de Sam Loyd avec cette fonction, elle sera toujours mauvaise.

M. WIENER.

Les problèmes sont choisis pour rendre aussi peu valables que possible les méthodes usuelles de jeu.

M. LE LIONNAIS.

C'est l'intérêt du problème. On peut se demander aussi pourquoi une grande organisation comme EURATOM (et vous l'avez indiqué vous-même) qui s'intéresse à des choses importantes et sérieuses, a demandé à des mathématiciens ou à des joueurs d'échecs de faire un joueur automatique. C'est parce que EURATOM s'intéresse aux problèmes de traduction automatique, de documentation automatique et nos travaux sur le joueur d'échecs automatique...

M. WIENER.

Le joueur d'échecs, c'est un laboratoire pour étudier la construction en général des machines qui apprennent.

M. LE LIONNAIS.

C'est cela ; nous espérons tirer quelques règles d'heuristique automatique, et nous pensons en avoir déjà trouvé quelques-unes : l'une est, comme vous l'avez très bien dit, qu'il faut savoir bien demander ce que l'on veut demander, parce que je crois que je connais le jeu d'échecs (quoique mathématicien j'étais un petit international d'échecs avant la guerre) ; j'ai une bibliothèque de deux mille livres sur le jeu

d'échecs ; je les ai lus ; je croyais donc bien connaître ce jeu. Mais il y a une chose que tous les joueurs d'échecs du monde, les plus grands, ignoraient dans leur jeu, et qui n'est pas écrite dans le code international du jeu d'échecs...

M. WIENER.

C'est qu'ils se comprennent entre eux.

M. LE LIONNAIS.

...Ce que nous avons dû apprendre à la machine, c'est qu'on ne doit pas mettre deux pièces sur la même case et qu'on ne doit pas mettre une pièce sur plusieurs cases en même temps. C'était tellement évident pour nous que jamais on ne l'avait dit, mais il a fallu apprendre à le dire à la machine et je crois que ce fut pour nous tous une révélation sur l'explication nécessaire de tout, *sans exception*.

M. WIENER.

Les machines automatiques pour jouer aux échecs instruisent les joueurs d'échecs sur ce qu'ils font sans le comprendre.

M. LE LIONNAIS.

C'était pour nous une bonne leçon et même une bonne leçon d'heuristique ; je vous remercie.

M. HYPPOLITE.

Dans votre admirable conférence, c'est plutôt l'aspect inverse de celui dont M. Le Lionnais vient de parler que je vais aborder. Il a insisté sur l'explication de ce que nous faisions seuls en quelque sorte, automatiquement, sans y penser et moi, je vais insister sur la notion de réussite, sur le résultat.

M. WIENER.

Dans les échecs ?

M. HYPPOLITE.

Non.

M. WIENER.

En général ? C'est la difficulté.

M. HYPPOLITE.

Vous avez très bien dit : pour un jeu, on sait ce qu'on peut demander à la machine ; gagner aux dames cela veut dire qu'il n'y a plus de pions, gagner aux échecs cela veut dire que le roi est échec et mat.

M. WIENER.

Qu'est-ce que c'est gagner dans une traduction ?

M. HYPPOLITE.

Vous avez dit ensuite : « gagner à la guerre » — et, en allant peut-être un peu vite (ce n'est pas une critique) : « il faut s'arranger pour gagner la guerre sans que l'humanité soit démolie », — mais c'est une règle morale presque trop générale ; je vous demanderai : « Que signifie même gagner une guerre ? » Il peut arriver que le vainqueur soit vaincu.

M. WIENER.

Gagner une guerre, mais sans détruire l'humanité.

M. HYPPOLITE.

Vous allez presque trop loin dans le jeu de la guerre, car la définition même de gagner n'est pas du tout claire ; elle est existentielle ; il arrive qu'un peuple apparemment vainqueur comme nous en 14 soit vaincu parce qu'il a perdu trop d'hommes et qu'il devient plus faible ensuite tandis que pour une théorie des jeux nous pouvons définir ce que c'est que gagner.

M. WIENER.

C'est toujours le problème de l'Apprenti Sorcier.

M. HYPPOLITE.

Oui, mais entre le moment où ce que veut dire gagner est très simple, et le moment où cela devient une grande évidence morale — éviter que l'humanité soit détruite dans une guerre — il y a un intermédiaire, qui est l'évaluation de la norme.

M. WIENER.

Il est très difficile de déterminer ce que sont actuellement nos buts.

M. HYPPOLITE.

Je n'ai fait au fond qu'insister sur un aspect contenu dans votre conférence.

M. WIENER.

Nous sommes absolument d'accord.

M. MOLES.

Pourrait-on considérer, en suivant la suggestion faite par M. Hyppolite et vous-même, la machine comme une sorte d'amplificateur de désirs dans sa symbiose avec l'homme qui est — je crois — ce que vous nous proposez ?

M. WIENER.

Oui, en travaillant avec les prothèses, c'est bien une amplification électrique des potentiels trop petits, pour les rendre efficaces... C'est précisément ce que j'ai dit : l'emploi des machines automatiques est toujours une sorte de prothèse des membres que nous ne possédons pas.

M. GOLDMANN.

Je trouve la formule de M. Wiener extrêmement suggestive et je dirai volontiers, en demandant à M. Wiener s'il est d'accord, que si nous pouvons concevoir la machine comme la prothèse d'un système global dans lequel serait englobé l'homme, il faut ajouter que l'on pourrait dire que l'individu par rapport à la société est encore quelque chose de très analogue, un élément dans une structure globale sur laquelle il agit mais dont il subit l'action.

M. WIENER.

Si je comprends bien, cette idée de prothèse n'est pas seulement valable pour l'individu mais pour la société et je suis aussi d'accord que cette idée de prothèse ou de remplacement de fonctions — même que nous n'avons pas — est aussi valable pour la société que pour l'individu.

M. GOLDMANN.

Oui, mais là se pose un problème : vous avez soulevé une des questions les plus urgentes, celle de la relation entre l'efficacité et les valeurs ; on peut obtenir telle et telle efficacité et mettre les valeurs en question. Mais si le chercheur crée la machine qui analyse les valeurs — les techniques qui dans le cas de la guerre par exemple seraient à suivre pour obtenir le moins de dégâts — la question se pose encore : le fait que le professeur Wiener et la machine qu'il a construite sont insérés dans un groupe social, et si bonne que soit la machine son action sur la sélection des valeurs sera un peu plus forte que celle de M. le Professeur Wiener sans machine mais sera encore extrêmement limitée. La société utilisera de sa machine ce qui est utile à ses valeurs, mais éliminera probablement le reste.

M. WIENER.

C'est un problème très difficile de déterminer les valeurs dans une société nouvelle, même en employant les machines ; mais j'ai dit que si la race humaine se détruit en employant les machines, ce n'est pas un meurtre par les machines mais un suicide, un suicide par sottise.

M. LE LIONNAIS.

Je voudrais reprendre un exemple sur la manière dont je vois la dernière intervention. Beaucoup dans cette salle ont ces appareils de prothèse que sont les lunettes ; si un assassin myope met des lunettes, il peut faire mieux son travail, mais nous n'allons pas supprimer les lunettes pour cela. Quelle est la conséquence de l'introduction des lunettes dans l'humanité ? Les philanthropes font plus de philanthropie ; les assassins font un meilleur assassinat ; je ne sais pas faire le bilan.

M. WIENER.

Pour les prothèses, on doit penser que la plupart de nous ici en ont toujours ; et l'humanité est devenue, à notre époque, absolument dépendante des prothèses.

M. GOLDMANN.

Il existe une image contre laquelle je voudrais me défendre, celle de la séparation des jugements de fait, et des jugements de valeur : il y a une science, elle est neutre ; il y a des machines compliquées ; elles ne participent nullement des jugements de valeur ; les hommes en font ce qu'ils veulent ; mais la science et les machines et les techniques construites à partir de cette science sont toujours l'œuvre des hommes et entrent dans un circuit de comportement humain : ce sont des prothèses, des amplificateurs de l'action humaine ; il se peut que l'individu qui fait la science ou qui fait la machine ignore les jugements de valeur, mais la société où sont nées ces machines a des jugements de valeur qui agissent sur les machines.

De sorte que le problème se pose : non pas d'une technique séparée et d'une société séparée, mais d'une société avec sa technique qui a ses jugements de valeur, et comment peut-on modifier ces jugements de valeur ?

M. WIENER.

Je suis tout à fait d'accord.

M. SALOMON.

Je voudrais apporter un tout petit correctif à ce que vient de dire M. Goldmann. Il existe un cas récent que M. Wiener doit bien connaître, c'est le travail que la Rank Corporation a fait sous la direction de Hermann Kahn. Les machines ont été amenées à utiliser déjà des jugements de valeur ; il s'agit de l'évaluation chiffrée des risques que comporte une guerre atomique. Nous savons que ce travail a eu pour résultat d'estimer le nombre de morts et de blessés aussi bien que les conséquences d'ordre social et moral que pourrait avoir un conflit atomique, or, ce travail a déjà fait intervenir une liaison intime entre les valeurs dont Goldmann parle, qui sont l'expression d'une société, et la manière de choisir les valeurs dans l'avenir, à savoir les conséquences que ce conflit pourrait avoir.

M. WIENER.

J'ai très peu de confiance dans le travail de M. Kahn. Je voudrais l'appeler un guide pour les mauvais enfants à la roulette russe.

M. SALOMON.

C'est un cas redoutable, mais l'importance qu'il a eue...

M. WIENER.

Les valeurs sont trop compliquées ; le nombre de gens tués directement par les bombes n'a pas de relation significative avec le nombre de gens tués par la désorganisation de la société, j'en suis sûr.

M. HYPPOLITE.

Je voudrais ajouter un mot qui serait une suite. Supposez que nous puissions transformer la théorie de la guerre en théorie des jeux, que nous puissions transformer la guerre en un jeu dont nous aurions évalué très exactement les règles. Il n'y aurait plus de guerre parce qu'il suffirait de mesurer très exactement les règles du jeu ; c'est ce qu'ont fait certaines

armées à certaines époques où elles jouaient un jeu. Malheureusement, il y a quelque chose de plus compliqué ; c'est qu'on ne peut pas ramener la guerre à une théorie des jeux.

M. WIENER.

C'est spécialement vrai en considérant la théorie des jeux de Von Neumann, parce qu'on ne peut pas négliger le fait que l'adversaire ne joue pas toujours le meilleur jeu dont il est capable. Par exemple, si, dans les guerres entre Napoléon et l'Angleterre, Nelson avait pensé que les Français, les Espagnols, pouvaient agir aussi efficacement que les Anglais qui connaissaient les mers depuis longtemps, il aurait perdu la possibilité de faire le blocus. Il est très important que l'adversaire ne joue pas aussi bien qu'on joue soi-même. Les hypothèses faites dans la théorie des guerres de Von Neumann peuvent non seulement ne pas être les meilleures mais elles peuvent produire la perte de la guerre.

M. HYPPOLITE.

Mettre la guerre en théorie des jeux, cela transformerait la guerre en un problème symbolique de telle sorte qu'il n'y aurait plus de guerre : on pourrait prévoir d'avance.

M. WIENER.

Oui : les mathématiques, ce n'est pas la guerre...

M. GRENIEWSKI.

Je ne suis pas sûr d'avoir bien compris M. Goldmann. Je suppose qu'il a dit la chose suivante : nous faisons une distinction entre les jugements ou propositions concernant les faits et les jugements ou propositions concernant les valeurs. Et votre thèse, si je l'ai bien comprise, était qu'il n'y a pas d'influence des machines sur les jugements de valeur.

M. GOLDMANN.

Au contraire, je disais que la science s'est développée au XIXe siècle jusqu'au moment où la conscience dialectique est apparue sur l'idée que les jugements de fait et de valeur

sont radicalement séparés. Pour reprendre une expression célèbre, selon la formule de Poincaré, de deux prémisses à l'indicatif, on ne peut pas tirer une conclusion à l'impératif. Mais je pense qu'il n'y a pas de prémisses à l'indicatif et il y a toujours implicitement dans ce qu'on prenait pour des prémisses à l'indicatif des jugements de valeur ; on peut être tous d'accord, s'il s'agit de sciences naturelles, mais c'est une valeur que de maîtriser la nature. Et, au moment où l'on se réfère à des réalités sociales et historiques, les jugements de valeur deviennent des jugements particuliers. Pour répondre à ce que disait Salomon, le calcul ne peut pas se faire en pertes d'hommes parce que la valeur d'un homme n'est pas actuellement universellement estimée ; il y a des groupes qui estiment fort peu la perte d'un homme, d'autres qui l'estiment beaucoup plus : certains estimeront que c'est plus grave de perdre dix mille hommes que de détruire tel bassin industriel.

M. GRENIEWSKI.

Je vous ai mal compris mais moi je ne suis pas tellement pessimiste du point de vue méthodologique ; Poincaré avait raison, on peut discerner les propositions concernant les faits et les propositions concernant les valeurs. Admettons cette hypothèse pour le moment.

M. WIENER.

Il me semble que nous sommes tous d'accord ici. Je n'ai observé aucune différence substantielle entre les points de vue des uns et des autres.

M. LE PRESIDENT.

Sur ce point, il semble tout de même y avoir une différence entre M. Goldmann et M. Greniewski, mais la discussion est plutôt entre eux qu'entre M. Goldmann et vous-même.

M. GRENIEWSKI.

Je crois que le raisonnement que nous faisons et les déductions que nous faisons sont toujours mixtes. Nous

avons des prémisses de fait et des prémisses de valeur et ce sont les uniques déductions qui ont une valeur pratique. Ce sont celles où il y a au moins une prémisse concernant les valeurs.

On peut se demander maintenant si l'activité des machines est limitée aux déductions qui contiennent seulement les thèses de fait, ou bien si une influence des machines — des machines à déduire par exemple — dans le domaine des valeurs est possible. Pour moi, je suppose qu'une influence des machines, des machines à faire des déductions, dans le domaine des valeurs, est possible. Pourquoi ? Les systèmes divers de valeurs qui sont acceptés par diverses sociétés, classes sociales, couches sociales, je crois qu'ils sont en règle générale contradictoires, mais nous ne savons pas cela en général ; mon système propre de valeurs est aussi contradictoire. Mais c'est très difficile à prouver ; et une machine à déduire peut me donner la preuve, la démonstration que mon système de valeurs est contradictoire. Dans ce cas, l'influence d'une telle déduction faite par la machine est telle que je suis obligé de rejeter quelque chose, quelques thèses de mon système de valeurs.

M. WIENER.

On doit agir de façon telle qu'on veuille que les règles de son action soient universelles.

M. GRENIEWSKI.

Dans le domaine de la science, des faits, on a construit à la fin du XIXe siècle ou au commencement du XXe siècle quelques paradoxes ; on a prouvé que nos thèses qui paraissaient tout à fait évidentes, qui concernaient la notion de l'ensemble, sont contradictoires, par exemple le paradoxe de Burali-Forti, encore plus les paradoxes de Bertrand Russell.

On a été amené à rejeter quelques thèses concernant les faits qui étaient contradictoires bien qu'elles fussent évidentes. Je crois que les mêmes recherches déductives sont à faire à l'aide des machines, aujourd'hui, demain ou après-demain. A l'aide de machines, on pourrait examiner si nos systèmes éthiques ou plus généralement nos systèmes de valeurs ne sont pas contradictoires.

Si l'on donne la preuve qu'un système de valeurs est contradictoire de façon interne, on obligera un homme ou une couche sociale ou une société à faire une révision et ce serait l'exemple de l'influence de machines non pas dans le domaine de la théorie mais de l'idéologie.

M. HYPPOLITE.

N'y a-t-il pas une confusion de la compatibilité et de la contradiction ?

Vous ne pouvez juger qu'un système de valeurs est contradictoire que si vous êtes capable de réduire des valeurs concrètes et vécues à des termes symboliques comme pour les mathématiques où un système peut être contradictoire. Je puis parfaitement avoir des valeurs relativement incompatibles, concrètement, qui ne peuvent pas être démontrées contradictoires ; cela revient toujours au problème la réduction à un système symbolique par lequel nous pourrions tous nous entendre et éviter tout le drame de l'existence ; malheureusement, ce n'est pas la même chose.

M. WIENER.

C'est une chose comme la codification juridique.

M. GRENIEWSKI.

Je suis d'accord.

M. MACKAY.

Il me semble que nous pourrons clarifier notre discussion en nous rappelant qu'il y a dans un certain sens une équivalence entre une machine quelconque et un livre de règles. Ce que nous disons avec beaucoup d'enthousiasme au sujet d'une machine devrait être également applicable à un livre de règles, comme Turing l'a montré il y a longtemps.

Ce que je veux signaler, c'est l'importance philosophique des questions soulevées par quelque chose que M. Wiener a dit, c'est-à-dire que la machine a acquis une personnalité. Ce qui me frappe, c'est que dans le même sens il devrait être possible de dire qu'un livre de règles a une personnalité, et c'est un sens qu'en anglais nous pourrions appeler « pickwickien. »

Quelle est la différence entre l'attribution d'une personnalité à un livre de règles et l'attribution d'une personnalité à un homme ?

M. WIENER.

Nous parlons des règles dans deux sens, les règles de légalité pour le jeu et les règles du jeu recommandées. Un livre de légalité n'a aucune personnalité, mais un livre qui recommande comment jouer aux échecs a beaucoup de la personnalité de son auteur ; c'est parfaitement possible ; et on peut reconnaître cette personnalité.

M. LE LIONNAIS.

C'est vrai, à coup sûr. Et nous pensons d'ailleurs dans le petit groupe d'Ispra qui s'appelle Semech, sémantique échiquienne, nous envisageons par la suite d'avoir des joueurs d'échecs automatiques avec des personnalités différentes, certains seront très agressifs, d'autres très défensifs.

M. WIENER.

Et d'après le joueur pris comme maître d'échecs, une machine qui apprend bien adopterait quelque chose de la personnalité du maître.

M. LE PRESIDENT.

A-t-on répondu à votre question ?

M. MACKAY.

Oui. Il me semble qu'en prenant l'analogue nous comprenons ensemble les règles légales et les recommandations de jouer, parce que même la machine qui apprend est réglée par les possibilités d'apprendre qui sont écrites dans le programme ; et le programme est équivalent à un livre de règles. Il me semble que nous écartons la question centrale, la comparaison des machines et des êtres humains, en ignorant cette différence, la différence qui est équivalente à la présence d'une conscience. Qu'est-ce qu'avoir la conscience dans le cas de la machine ?

M. WIENER.

Les règles judiciaires — des échecs par exemple — sont des contraintes du point de vue de la mécanique, mais les autres règles sont des recommandations ; comment bien jouer ? Cela contient une évaluation ; les règles judiciaires n'en contiennent aucune ; ce sont des contraintes nécessaires. Il semble qu'il y a bien des différences en ces deux sortes de règles.

M. BECK.

Je voudrais reprendre ce qu'a dit M. MacKay, tout en n'étant pas parfaitement d'accord avec lui. J'ai eu hier beaucoup de sympathie pour les hommes de science qui disaient que les philosophes commençaient à utiliser des mots dont ils pervertissaient le sens, mais j'ai l'impression, en forçant l'expression, que les hommes de science commencent à utiliser les mots philosophiques avec plus de perversion que les philosophes utilisant des mots scientifiques.

J'ai entendu des mots utilisés par M. Wiener et par d'autres ; vous parlez de machines à raisonner, de machines qui ont de la personnalité ; vous suggérez même que les machines peuvent émettre des jugements de valeur. Or, je ne veux pas parler pour les philosophes, je parle uniquement pour moi-même, mais je ne reconnais jusqu'à présent aucun sens des mots jugement, valeur, personnalité, conscience, dans tout ce que vous avez dit. Quand vous dites personnalité, il me semble que vous parlez des habitudes, des réflexes conditionnés.

M. WIENER.

Oui.

M. BECK.

Il me semble que, dans toutes les discussions, vous utilisez des arguments par analogie.

M. WIENER.

Ces machines deviennent des machines différentes suivant leur expérience.

Si vous preniez deux machines semblables (des machines à apprendre), leur structure étant primitivement la même dans les deux cas, et si elles ont joué contre deux personnes de différentes écoles d'échecs — disons l'école russe et l'école la plus orthodoxe — à la fin, elles seraient devenues deux machines différentes. Si vous faites jouer ces deux machines l'une contre l'autre, le jeu serait significatif. Vous pourriez actuellement avoir un jeu entre deux écoles d'échecs dans lequel les deux écoles seraient représentées par des machines qui auraient été éduquées dans la tradition des deux écoles.

M. BECK.

On peut éduquer des animaux. Est-ce qu'on utilise en philosophie le mot « personnalité des animaux » ?

M. WIENER.

Oui.

M. BECK.

Je crois que c'est un malentendu ; je crois qu'un philosophe ne dit jamais d'un animal qu'il a une personnalité. J'émets une protestation.

M. LE PRESIDENT.

Trois professeurs, pendant votre protestation, ont paru protester eux-mêmes...

M. FESSARD (s'adressant à M. Beck).

Pour moi, le conflit est très clair, s'il y a conflit. Vous avez une conception *subjectiviste* du mot personnalité, tandis que d'autres ont une conception *objectiviste*. La question de savoir si l'on a le droit d'employer le mot personnalité pour

une description objective d'un comportement qui ressemble à celui que chacun de nous a lorsqu'il parle de sa personnalité avec la résonance affective qu'il donne à ce terme, c'est une question d'entente sur une terminologie ; vous pouvez dans votre conception philosophique considérer qu'on n'a pas le droit d'employer ce mot, mais c'est un fait qu'on a pris l'habitude en psychologie objective d'employer ce mot.

M. BECK.

Je suis très classique dans ma pensée mais j'admets volontiers qu'elle soit subjective parce qu'une personne est un *sujet ;* nous faisons la distinction entre le sujet et l'objet. Je ne suis pas contre le mot personnalité mais je veux savoir qu'on l'utilise dans un sens bien différent de son sens normal.

M. VERMEERSCH.

Pour simplifier encore le problème, on peut dire ceci : si cinq personnes différentes emploient un porte-plume, on sait que ce porte-plume a des habitudes qui ne sont pas les mêmes ; peut-on parler d'une personnalité du porte-plume ?

M. WIENER.

La personnalité d'une machine à jouer aux échecs est *connue* de la même manière que la personnalité des autres personnes.

Nous n'avons aucune expérience interne de la personnalité des autres ; nous reconnaissons la personnalité du joueur d'échecs d'après le jeu qu'il a fait précisément comme nous reconnaissons la personnalité des machines.

M. ROSENBLITH.

Je crois que nous sommes en effet revenus au discours inaugural du professeur Guéroult. Il nous a parlé de Descartes, des machines, des animaux et des hommes ; et ce matin, on a discuté si les machines, les animaux et les hommes ont une dimension continue ou si ce sont des entités discrètes ayant des propriétés tellement différentes qu'on ne peut pas utiliser les uns pour étudier les autres.

Je crois qu'on peut examiner le comportement (et je ne parle pas seulement du comportement au point de vue musculaire mais d'un comportement généralisé qui inclut la pensée) des machines, des animaux et des hommes par des méthodes scientifiques semblables. Chaque fois qu'on essaie de faire des séparations nettes, on se trouve en difficulté ; Spinoza nous a déjà dit qu'on ne peut pas démontrer qu'une machine puisse exécuter n'importe quelle action particulière. Je crois qu'un des mérites principaux de la cybernétique est qu'elle nous amène à examiner le comportement des machines, des animaux et des hommes avec les méthodes les plus compatibles qu'on puisse inventer. Maintenant, personne ne dit qu'il n'y ait pas de différences entre les machines, les animaux et les hommes, mais les différences ne se trouvent pas dans des mots qui appartiennent à des siècles passés. Les différences ne sont pas dans des définitions qui aujourd'hui ne tiennent plus. Ce n'est pas en parlant de « la Conscience » (avec un C majuscule) que nous arriverons à mesurer ou comprendre les différences qui existent. Nous admettons qu'on ne puisse pas mesurer la conscience entière, mais la question n'est pas là ; ce que nous proposons de mesurer, ce sont quelques aspects du comportement, qui sont fortement en relation avec la conscience.

De ce point de vue-là, il n'est pas très utile d'avoir des arguments tels que : la machine apprend ou non ; elle se modifie sous des impulsions venant de l'extérieur ou même, avec des complications suffisantes à l'intérieur, de l'intérieur même ; de ce point de vue aussi, il n'est probablement pas utile de se conduire comme si on espérait arriver à une délimitation nette telle que : ceci est l'intelligence humaine et cela est l'intelligence d'une machine.

Et encore, comme l'a fortement posé le professeur Wiener, la combinaison de demain, la combinaison homme-machine, aura des caractères, des propriétés, des personnalités tout à fait différentes de ce que l'homme possède lui-même. Vouloir séparer les choses et dire qu'il y a des mots qui s'appliquent seulement à l'homme et d'autres seulement aux animaux et d'autres encore aux machines, ce n'est certes pas faire de la science moderne ; ce n'est peut-être même pas, si j'ose dire, de la philosophie moderne, mais c'est vouloir séparer pour toujours les sciences physiques des sciences biologiques et humaines, chose qui aujourd'hui ne se défend guère. Et si je puis terminer ici ce discours un peu trop agressif, de même que, comme quelqu'un l'a dit, la guerre est beaucoup trop importante pour être laissée aux généraux et aux militaires, je suis convaincu que la philosophie est trop importante pour être laissée aux philosophes et même que la science est trop importante pour être laissée seulement aux scientifiques.

M. WIENER.

Vous avez décrit précisément pourquoi j'ai employé un mot neutre, la cybernétique, pour cette science.

M. LE PRESIDENT.

M. Leslie Beck qui a été directement attaqué peut répondre.

M. BECK.

Non, ce que j'entends là, c'est la philosophie typiquement behavioriste, ce n'est pas le sujet de notre discours ici ; nous ne sommes pas d'accord, mais nous pouvons rester en discusion quand même. Je ne crois pas qu'il faille être behavoriste pour être moderne. Je reste non-conformiste.

M. SEBAG.

J'ai été très intéressé par ce que le professeur Wiener et M. Le Lionnais ont dit des machines à jouer aux dames et aux échecs. Je voudrais présenter quelques remarques. A quelles conditions une machine traduit-elle, joue-t-elle aux dames, aux échecs ? A la condition préalable que ceux qui construisent les machines aient pu disséquer aussi précisément que possible la totalité des opérations, implicites ou explicites, que nous, lorsque nous traduisons, lorsque nous jouons aux dames ou aux échecs, effectuons. C'est à la seule condition d'avoir totalement explicité cette chaîne et de pouvoir ensuite la donner à la machine sous forme de programme que la machine peut reproduire les opérations que nous accomplissons. Or, la plupart du temps, nous accomplissons ces opérations sans en avoir une conscience explicite, parce que la quantité de facteurs est tellement grande que la plupart du temps nous nous contentons de visées intuitives. Aux échecs, par exemple, il est certain que l'élément temps intervient, le moment de la partie où je dois faire tel ou tel choix, par exemple échanger une dame ou non,

est un élément capital ; mais lorsque nous jouons, sauf en des cas extrêmes, nous n'avons pas formalisé de manière tout à fait précise la manière dont cet élément temps entre en jeu et lorsque je veux construire une machine à jouer aux échecs, il faut que je fasse une véritable analytique de l'esprit, qui consiste à pousser au maximum cette formalisation. Il en est de même pour les machines à traduire...

M. WIENER.

La machine qui apprend peut avoir maintes propriétés qui ne sont pas déjà connues de l'homme qui programme la machine. Le fait que la machine a battu M. Samuel démontre que M. Samuel n'a pas prévu les conséquences de son programme, c'est-à-dire que la machine peut avoir ce qui paraît une individualité non connue de l'homme qui en a fait le programme. On ne peut pas dénier l'originalité à la machine si on ne dénie pas en même temps l'originalité à l'élève qui apprend à jouer aux échecs.

M. MACKAY.

Je suis entièrement d'accord avec mon collègue M. Rosenblith ; au niveau de la méthodologie scientifique, il me semble entièrement légitime d'étudier les êtres vivants et les machines selon la même discipline ; mais je veux démontrer que le problème de savoir si un être est conscient n'est pas un pseudo-problème ; une question vraie est une question à laquelle la réponse pourrait être fausse. Ce n'est pas une pseudo-question s'il est possible que la réponse soit fausse.

Plaçons-nous devant M. Rosenblith ou devant n'importe lequel d'entre nous ici et imaginons que nous décidions entre nous qu'il n'est pas conscient de ce qui se passe. Pour nous, cela pourrait être regardé comme une question de convention mais pour lui ce n'est pas cela, parce qu'il sait que nous n'avons pas raison. Donc, nous avons posé une question *réelle* : est-ce que M. Rosenblith est conscient ? C'est pour cette raison que j'ai voulu diriger notre attention sur la question parallèle dans le cas de la machine ; cela me semble intéressant philosophiquement (1) et il me semble que c'est une bonne question pour nous ici, techniciens et philosophes, pour discuter.

(1) MacKay (D. M.). — *Brit. J. Phil. of Sci.* XIII, 89-103 (1962).

M. WIENER.

Si nous avons le même comportement que celui que nous observons dans une machine et dans un homme, comment savoir si l'homme même est conscient ? Etre conscient est une chose dont nous jugeons par le comportement ; et quelque chose qui ne paraît pas dans le comportement ne peut pas être déterminé ; le comportement inclut aussi le comportement verbal, qu'il ne serait pas impossible de poser pour une machine, et il me semble que du point de vue philosophique nous ne connaissons rien de la conscience des autres. C'est un problème impossible à résoudre et je crois qu'il est sans signification.

M. LE PRESIDENT.

Si j'ai bien compris ce qu'a dit M. Wiener, il y a un double problème : comment puis-je savoir qu'un autre que moi est conscient, et comment sais-je, moi, que je suis conscient ? C'est un problème irréductible ; et moi, je sais bien que je suis conscient.

Ce n'est pas un problème de simple interprétation du comportement ; quand je suis en face de l'autre et que je me pose le problème de la conscience de l'autre, je peux me demander en effet si cet autre qui est en face de moi est une machine ou s'il est conscient et là vous pouvez me dire qu'il n'y a pas de critère discriminatoire ; il est en effet possible que l'on construise des machines qui ressemblent à des êtres conscients ; mais moi, j'ai de ma conscience une certaine expérience irréductible qui pose bien un autre problème que celui qui a été posé tout à l'heure.

M. WIENER.

Un problème solipsiste.

M. LE PRESIDENT.

Mais il existe quand même.

M. HYPPOLITE.

Je voudrais venir au secours de M. Beck — qui n'en a d'ailleurs pas besoin —. La différence qu'il fait en opposant les mots « subjectivité », « personnalité », je ne la ferais

pas ; j'aimerais mieux faire une opposition d'*existence* et de *machine*. Il est impossible d'épuiser les données de départ et il est impossible qu'une machine fasse la totalisation comme nous la faisons. C'est pourquoi j'admire d'autant plus M. Wiener d'avoir parlé d'un système humano-mécanique au lieu d'avoir parlé exclusivement de machine ; c'est le problème de l'union du corps et de l'âme tel qu'il est posé chez Descartes ; nous ne pouvons pas réduire à un système symbolique toutes les données de départ. Nous ne pouvons pas non plus faire effectuer par la machine la totalisation d'un avenir ouvert comme nous le faisons dans un projet, de telle sorte que nous sommes en un centre où, d'une part, nous réduisons des données à certains éléments symboliques — et la machine fonctionne — où nous réduisons nos totalisations à des totalités partielles, mais la machine qui fonctionne est prise à son tour dans notre existence. Et vouloir substituer le système machine entier à cette existence à laquelle la machine est liée, c'est une absurdité qu'aucun de nous ne commettra. Ce qui existe, c'est le système humano-mécanique dont vous avez parlé, et il me semble que sous cette forme j'évite ce conflit du dualisme radical dont vous avez fait état à juste titre contre un abus du système purement mécanique.

M. COUFFIGNAL.

Je crois qu'en précisant quelques règles ou plutôt quelques lois du fonctionnement des machines — et ce que nous appelons l'esprit humain sous un certain jour est aussi une machine — je crois que je pourrai peut-être apporter une contribution à ce débat.

Il est certain que lorsque nous faisons un raisonnement, nous remplaçons toujours la totalité de la réalité par un modèle, ce qu'en cybernétique nous appelons systématiquement un modèle dialectique, c'est-à-dire un système conceptuel qui comporte seulement une représentation abstraite de quelques-uns des attributs du système sur lequel nous raisonnons. Que ce modèle soit mis dans une machine ou placé par l'homme, temporairement, dans son propre esprit, c'est la même chose, il y a analogie parfaite entre le fonctionnement d'une machine sur un modèle qu'elle peut absorber et le fonctionnement de l'esprit humain sur le modèle qu'il s'est proposé.

L'analogie s'exprime en cybernétique systématiquement par l'emploi du même mot. C'est ainsi qu'on parle de la mémoire des machines à calculer et que pendant très longtemps nos amis britanniques ont refusé ce terme et ont dit « le magasin ». Par conséquent, il y a là une analogie dans l'usage des mots. De la même façon et en se plaçant dans le domaine propre des machines, je prends un autre exemple : lorsqu'on parle des équipotentielles qui sont attachées à une équation de Laplace, qui représente un mouvement de fluide en hydrodynamique, ou lorsqu'on parle des équipotentielles que représente cette même équation de Laplace lorsqu'il s'agit d'électricité, on utilise, le même mot qui, au fond, est l'équation de Laplace. Par conséquent, on a là un modèle représentatif de différentes choses.

Deuxièmement, si nous considérons le fonctionnement de l'esprit humain, nous avons un cas qui n'est pas tout à fait celui du problème de la conscience, qui serait dans une certaine mesure le problème de l'intelligence ; nous avons le cas dramatique du paranoïaque ; il raisonne de façon parfaite au point de vue déductif et nous avons un exemple extrêmement typique : au Centre d'Enseignement par correspondance où nous mettons des professeurs malades, nous avons à peu près en permanence cinq ou six paranoïaques qui corrigent parfaitement les devoirs, qui rédigent parfaitement un cours mais qui, en dehors de ce travail professionnel de déduction, sont absolument aberrants en ce qui concerne la vie quotidienne.

Un paranoïaque fournit un des éléments qui font la preuve que le raisonnement déductif qui est fait à l'intérieur de l'être humain — je prends ce terme pour être extrêmement général ; je ne veux même pas dire : à l'intérieur du cerveau — est fait avec quelque chose qui, à l'intérieur de l'organisme, est un mécanisme automatique. Le raisonnement déductif est donc une mécanique que l'on enseigne aux hommes au cours de leur éducation mais qui s'insère dans un certain organisme absolument comme peut le faire une machine à calculer.

A ce moment se pose le problème de l'intelligence : est-ce qu'un homme qui fait un raisonnement déductif, un mathématicien qui construit une théorie, fait intervenir son intelligence ? Ou bien, comme la possibilité de le remplacer par une machine et l'exemple du paranoïaque le montrent, fait-il simplement fonctionner un mécanisme automatique à l'intérieur de son propre organisme ? Si nous posons le problème de l'intelligence sous ce jour-là, il y a des gens qui diront que c'est tout de même avec son intelligence que l'homme fait des mathématiques, s'ils n'ont pas considéré le cas du paranoïaque. Si nous considérons ces deux exemples, nous sommes amenés à dire que ce n'est pas avec son intel-

ligence, c'est avec une partie de son organisme qui fonctionne comme une machine automatique qu'il construit les théories mathématiques.

Pour le problème de la conscience, nous sommes à peu près dans la même situation, de même que pour le problème de la personnalité. Il y a des comportements d'une machine (en tant que modèle de comportements humains), qui se manifestent d'une façon tellement voisine de l'être humain, auquel on reconnaît une personnalité, qu'il n'est pas abusif, dans la terminologie analogique qu'utilise la cybernétique, de dire que la machine a une personnalité de la même façon qu'il est courant actuellement de dire qu'une machine à calculer a une mémoire. Que d'autres refusent l'emploi de ce mot, c'est une question purement subjective. Mais, ce sur quoi je voulais surtout insister, c'est que nous ne raisonnons jamais que sur un nombre très restreint des attributs de l'être concret auquel s'applique le raisonnement.

Que nous trouvions des analogies à la suite de nos raisonnements, un nouveau modèle présentant des analogies avec l'original, c'est évident ; que ces analogies touchent parfois à un domaine qui n'était généralement pas attribué à la science et qui plutôt dépend de la philosophie, de l'esthétique, de l'éthique, cela peut se rencontrer, mais si nous attribuons toutes ces propriétés du modèle à l'original et si nous voulons que les autres propriétés de l'original non incluses dans le modèle soient entraînées dans les conclusions, cela devient excessif.

Il faut dans la terminologie penser que les termes analogues ou identiques que l'on utilise pour représenter des éléments analogues ne peuvent atteindre que les éléments inclus dans l'analogie.

M. LE PRESIDENT.

Je remercie beaucoup M. Couffignal de cette très utile précision ; il y a pour beaucoup une question de vocabulaire en effet et des mots que nous avons longtemps confondus, comme le mot intelligence, comme le mot raison, devraient être séparés à la lumière même des remarques que l'on vient de faire ; il est bien évident que le mot *raison* comme ensemble de règles est assez semblable à une certaine mécanique, que l'intelligence dans la mesure où elle suppose une invention suppose d'autres facteurs mais que le mot conscience, c'est là que je rejoins M. Beck, a un sens qui n'est aucun de ceux-là dans la mesure où il est conscience de soi ; une machine n'éprouve pas de douleur.

M. WIENER.

Ce n'est pas sûr...

M. LE PRESIDENT.

Si l'on admet qu'une machine éprouve une douleur, la position de M. Beck sera peut-être atteinte.

M. ROSENBLITH.

Je voudrais simplement répéter avec des mots un peu différents ce que quelques collègues ont déjà dit : je ne suis nullement ennemi de la conscience, ni de la conscience humaine, ni même de la conscience sociale — ni même de la conscience possible. Mais la question qui se pose ici c'est que l'on fait de la conscience un *tout ou rien,* et à cela, je m'oppose.

Il y a des états de conscience qui sont des états modifiables. En tant que la conscience a une signification du point de vue scientifique, il faut que le terme conscience soit analysable, décomposable ; nous savons, par exemple, que chez les animaux ou les hommes, on peut modifier la conscience, avec des drogues.

Je ne disais point que la conscience d'une machine était la même chose que la conscience humaine, mais j'ai suggéré qu'il faut que les mêmes procédés, les mêmes méthodes, la même orientation stratégique soient admissibles pour étudier les deux. Quant à ce que veut dire le mot de conscience, on peut le définir de la façon dont on veut attaquer le problème. On peut, par exemple, la définir comme étant les *self-monitoring activities* d'une machine ou d'un organisme. Nous sommes actuellement dans une situation où nous n'avons pas encore de machines ayant un nombre d'éléments comparable à celui de l'organisme humain ; et je ne dirai même pas que, quand ce nombre sera atteint les deux auront la même conscience. J'ai simplement dit qu'au point de vue d'une étude scientifique il faut procéder *comme si* — je crois qu'il est important qu'on mette l'accent sur le *comme si* — *comme si* l'on pouvait procéder de cette manière-là.

De cette façon, nous n'avons soustrait aucune dignité à la conscience humaine. Quant à la question d'être conscient de soi-même, on peut aussi observer que la machine est capable de nous donner des indications sur ce qui se passe à l'intérieur d'elle-même, c'est-à-dire sur ses états internes.

M. LE LIONNAIS.

Nous sommes en gros assez bien d'accord et sur nos accords et sur nos désaccords. M. Couffignal a parlé de terminologie analogique ; M. Fessard a parlé de la différence importante entre sujet et objet. Il est important, quand on s'adresse au grand public, de savoir mettre entre guillemets les mots « conscience », « personnalité », etc.

Nous devons faire attention à notre mission d'éducateurs.

D'autre part, M. Hyppolite disait que seul l'homme pouvait faire une totalisation ; il se pourrait que l'homme fût une machine *plus compliquée*. Mais ceci n'est pas démontré.

M. MacKay demandait où est le livre de règles dans l'homme ; peut-être est-ce le principe des acides désoxyribonucléiques, peut-être est-ce le programme de notre machine ? Je ne dis pas que c'est la réponse, mais c'est une hypothèse qui me semble très valable.

Par ailleurs, M. Greniewski dit : on démontre à des hommes ou à des sociétés que leur système affectif, leur système de valeurs ont des contradictions, et M. Greniewski conclut : c'est très simple, ils éliminent l'un des deux termes et ils gardent le reste ; or, il y aura des hommes qui prendront conscience des contradictions introduites par leur affectivité, feront cela et deviendront plus rationnels ; d'autres feront une névrose, et d'autres s'accommoderont très bien de leurs contradictions et préféreront vivre avec.

M. FESSARD.

Il y a un mot que j'emploie souvent lorsque des journalistes me demandent si les machines pensent ; je leur dis : tout dépend de ce que vous appelez penser. Moi, je trouve très utile de faire la distinction entre les *opérations* de la pensée et la pensée *vécue ;* les opérations de la pensée, les machines peuvent les faire et l'homme peut les faire en dormant, nous pouvons résoudre des problèmes dans des états où nous ne nous reconnaissons pas conscients. Mais dire que les machines ont une pensée vécue, ce n'est pas concevable pour nous.

M. LE PRESIDENT.

C'est ce que je disais tout à l'heure, qu'il y a une expérience que chacun de nous a de sa conscience, c'est la conscience vécue.

M. GOLDMANN.

Je me demande si finalement, revenant à de vieux problèmes méthodologiques discutés depuis un siècle, on n'introduit pas une clarté dans la problématique soulevée aujourd'hui, si l'on distingue le problème fonctionnel du problème structurel. Il y a toujours pour la même fonction qui pourrait être l'intelligence, la vie, etc., des niveaux de structure différents.

M. WIENER.

Hier, j'ai discuté avec un petit groupe comment transformer la fonction en structure et inversement ; j'aurais bien des choses à dire à ce sujet ; comment reproduire le fonctionnement arbitraire d'une machine avec une structure très limitée, très bien donnée ? Il me semble qu'on doit considérer la relation entre structure et fonction par une théorie générale de synthèse et d'analyse des machines ; mais nous n'avons pas le temps d'en discuter.

M. GOLDMANN.

Il me semblait qu'on pouvait dire qu'il y avait une continuité, une unité fonctionnelle entre la vie de l'animal et le comportement de l'animal et le comportement de l'homme, mais que l'on a affaire à des structures différentes. Il faut savoir si l'analogie se rapporte au fonctionnement ou aux structures.

A propos de conscience, je ne suis pas d'accord avec M. Alquié ; la conscience de moi-même est un phénomène très tardif et historiquement et génétiquement ; si je pars de l'idée que la donnée primordiale c'est que je pense, devant moi je n'ai que des êtres qui se comportent et j'ai besoin de toute une inférence pour savoir si le comportement de l'autre est conscient ou non ; devant la machine, cela devient plus difficile.

D'autre part, M. Greniewski nous dit : je peux avec la machine constater la contradiction. Mais ce qui est contradictoire est contradictoire à l'intérieur d'un système de valeurs. Les choses qui sont parfaitement contradictoires à un moment ne le sont pas ailleurs : au XVIIe siècle, si je dis que la liberté suppose le pouvoir absolu, c'est parfaitement valable ; la liberté est défendue par le Roi, et plus il sera

puissant au XVIIe siècle, plus il se défendra contre les féodaux. Si je dis dans une autre société que la liberté suppose le pouvoir absolu, c'est une absurdité.

Si vous voulez dire : la machine peut montrer des contradictions à l'intérieur des valeurs d'un groupe, c'est parfaitement valable. La machine jouera le rôle de prothèse, accélérera la prise de conscience, mais elle n'aura qu'un rôle de prothèse, comme l'a dit d'ailleurs M. Wiener.

Est-ce que finalement la très grande différence entre la machine et l'homme ne réside pas dans le fait qu'un homme passant d'un groupe social à un autre, d'un système logique global à un autre, peut s'adapter *spontanément* tandis qu'il faudra toujours un homme à la machine, à moins que vous ne réussissiez à atteindre un degré suffisant de complexité, pour que, d'un système logique, elle passe d'elle-même à un autre, adapté au milieu et au groupe social.

M. LE PRESIDENT.

Je suis obligé de lever la séance. Je remercie vivement tous les orateurs et M. Wiener, bien entendu.

TRANSFORMATION DE L'INFORMATION SOUS FORME DE TEXTE IMPRIME EN INFORMATION CODEE SUR RUBAN MAGNETIQUE

M. René de Possel
Institut Henri Poincaré, Paris

Président : M. ALQUIE

M. LE PRESIDENT.

Mesdames, Messieurs, nous allons entendre ce soir M. de Possel dans une conférence sur la transformation de l'information sous forme de texte imprimé en information codée sur ruban magnétique, et sur l'état des recherches à la date de ce Colloque.

Je n'ai pas besoin de vous présenter M. de Possel dont vous connaissez tous les travaux mathématiques ; vous savez qu'il a joué dans la formation des mathématiques modernes un rôle des plus importants, qu'il a fait de très grands travaux sur la théorie des ensembles et nous sommes particulièrement heureux de l'accueillir ce soir.

M. DE POSSEL.

Je m'excuse d'abord de devoir être assez technique ; cette conférence sera certainement beaucoup plus technique que les autres.

Quelle est la position du problème ?

L'information imprimée est destinée à être lue par l'œil humain. Pourquoi vouloir modifier sa destination première, vouloir la transformer en une information directement utilisable par une machine à traiter l'information ? Le but essentiel, c'est de faire un choix dans une masse plus ou moins grande d'informations imprimées.

Quelques exemples : rechercher dans l'information imprimée les extraits qui vérifient une ou plusieurs conditions fixées d'avance. Par exemple, dans toute l'œuvre d'un auteur rechercher les phrases dans lesquelles il a employé un mot déterminé ; c'est un problème qu'on peut se poser et qui a son intérêt. Rechercher un groupe de mots ou un schéma syntaxique déterminé dans les différentes phrases d'un auteur, ou bien faire de la documentation automatique à partir de documents déjà existants, par exemple dans une revue bibliographique s'étendant sur cinq, sur vingt ans, rechercher les titres ou les extraits donnés dans la revue bibliographique, contenant un ou deux mots donnés, ou davantage, ou leurs synonymes établis d'après une liste initiale ; ou bien, dans un corpus de textes destiné à être étudié en vue de la traduction automatique, relever des mots déterminés avec indication de l'emplacement, ou des phrases ayant un *arbre* déterminé, en prenant le mot au sens d'arbre de Tesnières par exemple.

Ceci afin de rechercher dans la langue de départ et dans la langue d'arrivée comment se correspondent ces arbres, les cas où les arbres dans les deux langues sont les mêmes et ceux où l'arbre change en passant d'une langue à l'autre.

Selon le but poursuivi par les études initiales de traduction automatique il pourra arriver que quelques milliers ou quelques millions de pages soient nécessaires si l'on veut faire une étude préliminaire assez importante et je dois dire que de tous les côtés où l'on s'occupe activement de traduction automatique les spécialistes sont arrêtés parce qu'ils auraient besoin de faire des études sur des textes considérables.

Tous ces travaux demanderaient que ces textes soient mis sous une forme directement utilisable par une machine. Actuellement les textes doivent être tapés sur un clavier en perforant des cartes ou du ruban ou même en agissant directement sur un ruban magnétique, et cette frappe doit être suivie d'une vérification souvent plus longue que la frappe elle-même.

Des essais que nous avons faits, il résulte qu'il est difficile d'aller plus vite avec sécurité qu'une page de 1 500 caractères par heure et par opérateur.

C'est donc très lent, d'où la nécessité d'une transformation automatique de l'information imprimée en information codée.

L'information sera codée le plus souvent sur ruban magnétique.

Il est intéressant d'examiner à quelle vitesse on peut introduire dans une machine le contenu d'un ruban magnétique. Ceci montrera le décalage immense qui existe entre la frappe sur un clavier à raison de 1 500 caractères à l'heure et la vitesse de défilement du ruban magnétique.

Je prends le cas où le ruban magnétique comporte des caractères que l'on appelle alpha-numériques, c'est-à-dire qui peuvent être soit des lettres de l'alphabet soit des chiffres.

Le ruban magnétique comprend généralement un certain nombre de pistes, sept par exemple, sur lesquelles sont inscrits des zéros et des uns ; chaque rangée transversale sur le ruban magnétique représentera un caractère alpha-numérique, en général. Sur les rubans rapides actuels qui fonctionnent dans les machines I. B. M., on peut faire défiler soixante-dix mille rangées par seconde, soixante-dix mille caractères alpha-numériques ; nous sommes à une distance extrêmement grande de ce qu'on pouvait obtenir par une frappe sur un clavier.

Sur les dérouleurs Ampex on va jusqu'à quatre-vingt-quinze mille. Sur les dérouleurs I. B. M. annoncés pour l'année prochaine il y aura cent mille caractères sur les rubans magnétiques de la largeur actuelle, et sur des rubans de largeur double on mettra deux caractères alpha-numériques par rangée et l'on pourra en avoir deux cent mille par seconde.

Enfin il y a des études portant sur des vitesses encore plus grandes.

L'idéal de la lecture automatique serait évidemment de parvenir à une telle rapidité. Ce serait de l'ordre de cent pages lues à la seconde.

Mais là on voit tout de suite qu'on est arrêté par le temps nécessaire pour tourner les pages. Pour tourner une page et recentrer le texte, même en admettant qu'on ait automatisé autant que possible ce recentrage du texte, il faut actuellement cinq secondes pour remettre le livre en bonne position. Cependant il y a bien des cas où l'on peut aller plus vite ; on peut d'abord reproduire tout le contenu du livre sur un micro-film, qui nécessite un matériel et un personnel relativement peu coûteux par rapport à ce que semble devoir coûter une machine à lire qui aurait une grande rapidité.

C'est un procédé qui peut être intéressant, reproduire le livre sur un micro-film qu'on fait défiler à grande vitesse ; mais l'on peut aussi imaginer qu'un exemplaire de l'ouvrage soit sacrifié, séparé en feuillets et qu'un système mécanique très réalisable fasse défiler automatiquement les pages, une fois le livre découpé en feuillets de dimension voulue.

Cela dépend des ouvrages ; pour un ouvrage récent on peut sacrifier un exemplaire mais non pour un ouvrage ancien et il faudra que le système qui serre le presse-livre de la

machine présente des conditions suffisantes de sécurité pour ne pas abîmer l'ouvrage, considération à ne pas perdre de vue.

Si l'on peut séparer le livre par feuillets, une seconde par page serait un maximum ; il serait intéressant d'arriver à une lecture à une seconde par page mais avec un seul exemplaire de l'ouvrage il ne sera pas intéressant de lire la page entière en moins de trois ou quatre secondes puisqu'il faut cinq secondes pour tourner la page.

Le domaine des vitesses qui est intéressant est compris entre un et 3 500 caractères par seconde pour des ouvrages dont on ne possède qu'un seul exemplaire, alors qu'il peut être intéressant de parvenir à 200 000 caractères par seconde pour une machine coûteuse devant laquelle on n'hésiterait pas à utiliser une importante équipe de micro-filmeurs.

Nous allons comparer ces nombres à ce que l'on peut attendre des réalisations qu'on peut envisager dès maintenant avec la technique actuelle.

Avec les techniques actuelles de l'électronique, des semi-conducteurs, de l'optique, de la mécanique, il semble qu'on puisse atteindre 600 caractères à la seconde, dans une réalisation qui paraît possible d'ici deux ou trois ans. Avec des techniques actuellement à l'étude d'électronique dite moléculaire, de micro-photogravure, il semble qu'on puisse atteindre d'ici cinq ou six ans 3 000 caractères à la seconde. Enfin, en poussant à l'extrême ces techniques, dans un temps de l'ordre d'une dizaine d'années, si tout va bien, on pourra peut-être arriver aux 200 000 caractères par seconde dont nous avons parlé en partant d'un micro-film défilant rapidement, mais les difficultés techniques sont énormes, il faudrait faire faire de gros progrès aux techniques actuelles.

Je vais d'abord envisager les réalisations actuelles d'appareils de lecture automatiques, et ensuite des réalisations dont je m'occupe dans mon laboratoire et qui sont à l'état de projets.

D'abord les réalisations actuelles : je vous renvoie à un article très documenté de M. André Devèze, dans la revue : *Automatisme,* dans les numéros de mai et juin 1962 ; il y a une étude très complète de toutes les réalisations connues jusqu'à maintenant. (Je parle de celles dont M. Devèze a pu avoir connaissance.)

On remarque de suite que tous les procédés envisagés opèrent de la façon suivante : 1° obtention à partir du texte de signaux électriques ; 2° séparation de ceux de ces signaux qui correspondent à une lettre unique.

Mais je dois dire que la plupart du temps ce deuxième problème ne se pose pas parce qu'on ne lit que des textes imprimés ou tapés, conditionnés de telle sorte qu'automatiquement il n'y a que les signaux qui correspondent à une lettre unique qui se présentent devant l'organe de lecture de la machine à un moment donné.

Dans les autres réalisations dont nous parlerons, ce deuxième problème joue un rôle essentiel au contraire ; c'est le problème du cadrage du caractère et de la séparation des autres parties du texte.

Enfin la troisième partie, qui est la deuxième dans la plupart des cas, actuellement : c'est qu'à partir des signaux électriques correspondant à un caractère il faut identifier ce caractère avec l'un de ceux qui ont été initialement prévus. Ici les procédés employés sont extrêmement variés.

A ma connaissance les lecteurs automatiques qui ont été réalisés jusqu'ici ne lisent que des textes vérifiant des contraintes particulières distinctes de celles qui sont exigées pour la lecture par l'œil humain. Le cas le plus simple, et le plus anciennement réalisé, c'est celui où les caractères présentent une structure particulière qui est ignorée entièrement par l'œil et qui sert à leur détermination par la machine ; c'est comme si l'on écrivait deux caractères différents, l'un pour l'œil et l'autre pour la machine. Ou bien, comme dans un système utilisé par la Bull pour les chèques, nous avons des chiffres qui sont divisés, si on les regarde à la loupe, avec un grossissement suffisant ; ils sont imprimés avec une encre magnétique et ils sont divisés en lignes verticales inégalement espacées, c'est l'espacement qui représente, au point de vue de la tête de lecture magnétique, la signification du chiffre.

C'est donc une contexture différente de celle qui permet de reconnaître le chiffre à l'œil.

Dans d'autres cas, ce sera un point mis sous ou sur le chiffre, plus ou moins gros ; c'est un procédé également utilisé ; on met un petit point pour le zéro, plus gros pour le un, plus gros encore pour le deux, etc., et on met des points au-dessus pour les autres chiffres ; c'est la grosseur du point qui est enregistrée par la machine alors que le chiffre lui-même ne sert qu'à l'œil ; ce sont deux impressions distinctes.

Evidemment, cela, c'est le tout début de la lecture automatique ; ce sont des cas où l'on imprime un chiffre et où il est nécessaire tantôt de le lire à l'œil humain, tantôt à la machine.

Il y a aussi d'autres cas où il y a normalisation non

seulement de la forme du caractère mais des intervalles entre les caractères et des interlignes ; mais ceci nécessite alors une machine à écrire spéciale.

Il y a aussi des machines qui lisent des textes imprimés par une tabulatrice ; je ne sais pas si elles sont bien au point ; le problème est déjà plus difficile, mais le principe est très possible puisqu'une tabulatrice imprime très régulièrement. Il y a les quatre-vingts caractères qui s'impriment toujours les uns au-dessous des autres et l'interligne est toujours le même : le problème du centrage ne se pose pas.

Tous ces lecteurs sont ceux que j'appelle *restrictifs*. Dans un article que j'ai publié dans la revue *Automatisme* qui doit faire suite aux articles de M. Devèze, dans un numéro actuellement sous presse, je disais que ces appareils étaient largement utilisés pour les chèques et dans certains cas pour l'acheminement du courrier : la destination est indiquée sur la lettre par un numéro d'après la lecture à l'œil humain de l'adresse, et ensuite ce sera une machine qui effectuera les tris successifs d'après ce qui aura été imprimé sur l'enveloppe.

Mais ces appareils sont très loin de rendre les services que rendrait un lecteur capable de lire tout texte imprimé. Les exemples donnés au début n'existent que si l'on peut lire n'importe quel texte imprimé avec des caractères d'imprimerie usuels. Il faut excepter toutefois les caractères de fantaisie qui sont utilisés en publicité.

D'ailleurs, si l'on réfléchit, on se souvient que lorsque certains types de caractères nouveaux sont apparus et qu'on les a vus dans des enseignes, sur des magasins, on avait beaucoup de peine à les lire la première fois, puis on s'y est habitué en quelques mois ou quelques années. Chacun peut se rappeler que, chaque fois, un nouveau type de caractères est lu très difficilement ; nous devons « apprendre à lire » les nouveaux types de caractères comme cela devra se faire pour la machine. Il est faux que dans toutes les façons d'écrire une lettre A il y ait des invariants qui soient toujours les mêmes, et que nous reconnaissions toutes les lettres A qu'on peut écrire ; nous reconnaissons celles dont nous avons l'habitude seulement.

Les autres, nous ne les reconnaissons pas avant de les avoir apprises. Il y a des périodes où les dessinateurs de caractère introduisent des formes nouvelles ; on voit dans les rues des enseignes dont on n'arrive pas à lire certains mots, jusqu'à ce qu'on en ait pris l'habitude. C'est un phénomène qui se reproduit tous les cinq ou dix ans : un nouveau type de caractères intervient.

A notre connaissance, aucun lecteur *extensif* n'a été réalisé jusqu'ici. A la suite de conversations avec le professeur Andreev à Leningrad, qui m'avait dit être arrêté par l'absence d'un lecteur automatique pour ses travaux sur la traduction automatique, j'ai été amené à réfléchir au problème de la réalisation d'un lecteur extensif.

Je vais d'abord considérer les principales fonctions d'un lecteur automatique.

Tout d'abord *le dispositif d'entrée*. Je disais il y a un instant qu'il s'agit d'obtenir à partir du caractère des signaux électriques ; je ne reviendrai pas sur les procédés magnétiques ; dans tous les autres cas il s'agit de procédés optiques.

Pour un lecteur restrictif, la disposition des caractères est telle que le système d'entrée ne reçoit des signaux provenant que d'un seul caractère à la fois ; ces signaux sont reçus selon les cas soit en une fois, soit en plusieurs temps en constituant une analyse du caractère.

Cette analyse peut procéder de différentes façons.

D'abord, elle peut être parallèle, s'il y a plusieurs voies pour les signaux électriques ; il y a des cas où elle est semi-parallèle ; d'autres où elle est entièrement séquentielle, s'il n'y a qu'une voie électrique transmettant les signaux.

Selon les cas, l'organe sensible sera, s'il s'agit d'une analyse séquentielle, une cellule photo-électrique unique ; s'il s'agit d'une analyse semi-séquentielle, cela pourra être un ensemble de cellules qui ne recevra qu'une partie de l'image du caractère ou une matrice de cellules pouvant recevoir l'image de tout le caractère. Tous ces procédés ont été utilisés et sont décrits dans l'article de M. Devèze dont je parlais tout à l'heure.

En général, le centrage du caractère ne sera pas nécessaire, si les caractères ont été conditionnés, mais il y a des dispositifs de lecture restrictive qui ont été étudiés et qui comportent des dispositifs de centrage du caractère au moyen d'un spot asservi dont le déplacement sur le caractère même dépend des résultats de l'exploration. Le spot peut être assujetti à suivre le tracé de la lettre, et le diamètre du spot peut également être assujetti à l'épaisseur du trait.

Ceci a été réalisé dans certains travaux soviétiques poursuivis à Kiev ; des dispositifs suivaient les lignes du caractère, la largeur du spot étant plus ou moins grande suivant la largeur du trait, le spot se centrant automatiquement ; un petit spot tourne, décrit un cercle, sort de la partie noire pour entrer dans la partie blanche, puis entre de nouveau dans la partie noire et, suivant les rapports de noir et de blanc, il se recentre plus ou moins ; il indique aussi l'incli-

naison des lignes que l'on coupe ; il suit automatiquement la ligne et le diamètre du spot dépend de l'épaisseur du caractère. Mais il s'agit d'une analyse très longue ; on ne pourrait pas envisager les vitesses dont nous avons parlé, même avec la rapidité qu'on peut attendre d'un faisceau électronique.

Il faut des procédés qui ont un caractère beaucoup plus global si l'on veut aller plus vite. Evidemment ces dispositifs de spots asservis seront très utiles dans la lecture des caractères manuscrits, où il faut suivre le trait et déterminer les nœuds du tracé, les points multiples où plusieurs traits se coupent (trois, quatre ou cinq suivant les cas) ; la reconnaissance des nœuds sera essentielle pour la lecture de l'écriture manuscrite mais pour l'écriture imprimée nous devons laisser tomber la recherche des nœuds qui est trop longue ; nous emploierons d'autres critères à ce moment-là.

Avant d'entrer dans les détails, ayant dit quelques mots du dispositif d'entrée, je dirai quelques mots de l'identification des caractères.

Combien de caractères va-t-on se proposer d'identifier ?

Dans un lecteur restrictif, on se propose quelquefois uniquement de reconnaître les dix chiffres, de zéro à neuf — c'est souvent suffisant — ou bien les vingt-six lettres de l'alphabet.

Le procédé le plus simple pour l'identification dans un lecteur restrictif consiste à utiliser un masque auquel le caractère à identifier doit se superposer ; mais ce dispositif ne peut réussir qu'avec des contraintes très serrées sur l'écriture ; il faut que la lettre conserve toujours la même forme à peu de chose près et qu'elle soit toujours disposée de la même façon par rapport au masque. Certains disent : si nous considérons des caractères de formes assez variées et qu'on les superpose, nous aurons une partie commune, une intersection assez fine qui donnera un schéma de la lettre ; mais c'est faux ; même avec de petites variations nous aurons toujours un caractère légèrement décalé ; il n'y a pas moyen de retrouver une ligne entièrement recouverte par les différents caractères à moins qu'ils ne soient normalisés de façon très sévère.

A plus forte raison n'est-ce pas possible quand on prend des caractères imprimés ; des lettres ont des parties extrêmement grasses, beaucoup plus épaisses que les creux, même dans les caractères qui ne sont pas publicitaires, par exemple dans les titres ; on ne peut pas chercher une intersection commune à toutes les lettres M par exemple. Il faut chercher d'autres critères.

Mais si nous voulons faire de la lecture extensive, combien devrons-nous avoir de caractères à identifier ?

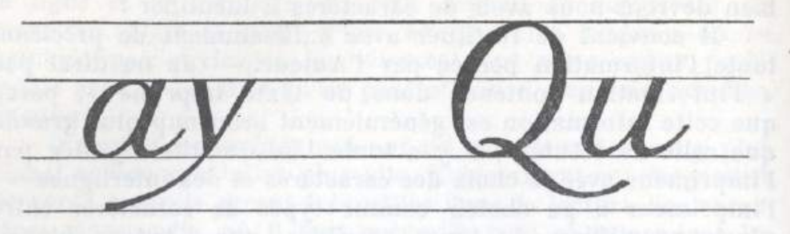
Il convient de restituer avec suffisamment de précision toute l'information pensée par l'Auteur. — Je ne dirai pas « l'information contenue dans un texte imprimé », parce que cette information est généralement beaucoup plus grande que celle de l'Auteur, il y a toute l'information ajoutée par l'imprimeur avec le choix des caractères et des interlignes, —, l'imprimeur a pu choisir comme types de caractères entre plusieurs milliers de types possibles, que l'Auteur n'avait pas précisés ; l'auteur s'est borné à souligner certains mots pour indiquer qu'il fallait les écrire dans des caractères différents, en italique le plus souvent, ou il a souligné deux fois certains titres pour qu'ils soient en petites capitales, mais il n'a pas mis autant d'information que l'imprimeur.

Après une étude assez poussée, je suis arrivé à la conclusion que pour des textes assez variés, y compris des textes scientifiques, c'est-à-dire pour la plupart des textes usuels, cinq cent douze figures suffisaient. Ces cinq cent douze figures, je peux les énumérer : on peut compter quatre alphabets latins, droits et italiques, ce qui fait cent quatre ; quarante-quatre caractères cyrilliques droits et italiques, ce qui fait quarante-quatre ; quarante-six caractères grecs distincts des précédents sans distinction de l'italique pour les minuscules (il n'y a pas lieu de distinguer l'italique grec du droit grec, à moins qu'il ne s'agisse de textes en langue grecque, que nous pouvons exclure) — ce qui fait quarante-six.

Ensuite il y a les capitales script, sans distinguer l'anglaise et la ronde, ce qui fait vingt-six ; et il y a les gothiques qui sont utilisées par beaucoup d'auteurs et qu'il n'y a pas lieu de distinguer des *Fraktur* allemandes. Peu d'imprimeurs ont les deux ; cela fait cinquante-deux. Ensuite il y a des ligatures, des chiffres, des signes divers, que nous pouvons évaluer à deux cent quarante en tout ; on arrive à cinq cent douze c'est-à-dire 2^9, il faut conserver des puissances de deux parce que nous travaillons toujours en binaire. Avec 1 024 ce serait très suffisant mais déjà avec 512 on peut aller très loin.

Une difficulté va se présenter dans la lecture extensive : pour séparer les caractères nous allons encadrer chaque caractère dans le plus petit rectangle qui le contient mais ce plus petit rectangle va contenir aussi des parties de caractères différents. Voici un y italique : le plus petit rectangle le contenant renferme une partie de la lettre a, qu'il va falloir éliminer. Ici, le Q majuscule : le plus petit rectangle qui le contient contient une partie de l'U, qu'il faudra éliminer.

Schéma 1 :



D'autre part, étant donné la multiplicité des accents utilisés dans les textes scientifiques, il est impossible de considérer comme figures différentes chaque lettre munie de tous les accents ; il vaut mieux considérer une lettre et son accent comme deux figures différentes.

Il va donc falloir un organe qui séparera les composantes connexes. Le q constitue une composante connexe de la deuxième figure, le u en constitue une autre. C'est la notion de composante connexe au sens de la topologie.

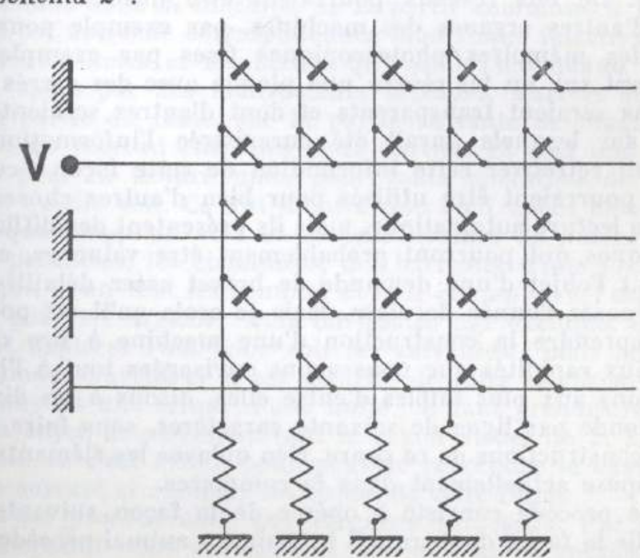
Mais une difficulté inverse va se produire : lorsque nous aurons deux barres parallèles, cela va être un signe égal ; il faut le traduire par une seule figure ; nous allons avoir deux figures différentes. Nous voyons apparaître la nécessité d'un organe spécial situé à la sortie de la machine, avant le codage sur le ruban, que je nomme l'*interprétateur,* qui doit se rappeler les trois ou quatre figures précédentes et examiner si plusieurs d'entre elles réunies n'ont pas une signification spéciale. Si nous avons trois barres parallèles avec ou non de petits empattements, cela peut être un Ξ (lettre grecque) ; mais aussi un signe « identique » ≡.

Je reprends les considérations sur l'organe d'entrée. Si nous tentons une comparaison avec l'œil humain, celui-ci peut être assimilé à une mosaïque de cellules photosensibles, chacune avec son fil conducteur, constitué par une fibre nerveuse partant de la cellule. Mais si nous voulons construire un organe analogue, les difficultés seront grandes ; pour qu'il soit efficace, il faudrait qu'il contînt au moins, dans une de ses dimensions, cent organes différents. Un carré de cent sur cent, cela fait dix mille ; un carré de mille sur mille, cela ferait un million d'organes différents. On peut peut-être réaliser un tel assemblage de cellules photo-sensibles, je crois même que c'est faisable, avec quelques précautions, mais ce qu'on ne peut pas réaliser ce sont les fils conducteurs qui partiront de ces différentes cellules. Admettons même que l'on puisse obtenir un million de fils conducteurs partant de ces cellules, que faire des fils conducteurs à leur sortie ? Il faudrait les connecter à un réseau électronique compliqué avec toutes sortes d'éléments, des tores magnétiques et d'autres organes ; ce serait un travail impossible à réaliser. On ne peut imaginer une cellule recevant une partie importante du texte de la grandeur d'une lettre tout entière, que si l'on a un procédé de réalisation automatique non seulement des cellules photosensibles mais encore des conducteurs qui en partent et ensuite du mécanisme électronique qui permettrait d'utiliser les courants fournis par ces conducteurs.

Ceci semble actuellement impossible ; il faudrait des procédés de construction automatique permettant par un procédé de cristallisation, par exemple, de faire pousser les fils petit à petit sur les cellules et ensuite de les grouper au moyen d'un programme agissant par un procédé difficile à imaginer, créant des circuits électroniques à partir de conducteurs microscopiques ; ce procédé me paraît pour le moment et pour longtemps absolument exclu.

J'avais d'abord pensé à un organe qui aurait autant d'éléments que l'organe dont je parle mais qui aurait beaucoup moins de conducteurs d'accès. On peut l'imaginer de la manière suivante : un certain nombre de fils conducteurs parallèles, mille à quatre mille et mille à quatre mille dans la direction perpendiculaire : huit mille fils — on peut encore les connecter, ce sera long mais réalisable — ces fils sont réunis à chaque point de croisement par une petite cellule photo-sensible.

Schéma 2 :



Avec quatre mille fils, dans chacune des deux directions, nous aurons seize millions de cellules photo-sensibles. Ces cellules, on peut les construire toutes à la fois : de même pour les fils, mais il faudra raccorder les fils un à un. Nous aurons donc huit mille jonctions à exécuter ; c'est très possible. Les cellules vont avoir la propriété d'arrêter le courant dans les deux sens quand elles sont dans l'obscurité et de le laisser passer dans un sens quand elles sont éclairées ; on peut utiliser des doubles diodes opposées. Dans l'une des directions, nous mettons tous les fils à la masse, sauf un que nous portons à un potentiel V, et nous recueillons sur les fils perpendiculaires, grâce à des résistances de charge, des tensions qui correspondront à zéro ou à un selon qu'aux points d'intersection du fil horizontal distingué avec les fils verticaux les cellules correspondantes seront dans l'ombre ou éclairées.

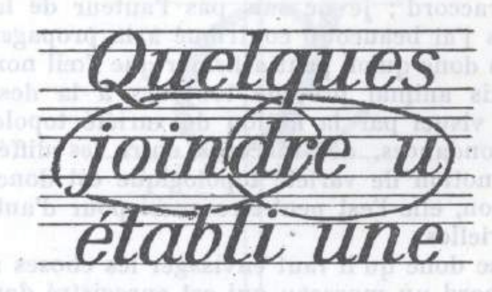
Un tel dispositif, si on suppose qu'il y a quatre mille fils dans chaque direction, permettrait d'envisager toute la longueur de la ligne comme étant explorée en une seule fois ; ceci permet d'analyser toute la ligne à la fois au moins par des sections horizontales ou verticales en intervertissant les rôles des deux rangées de fils.

Ce dispositif présentait un gros avantage, les signaux électriques n'ayant pas besoin d'être mis en mémoire dans la machine pour être étudiés ; le réseau lui-même constituait une sorte de mémoire sur laquelle on pouvait travailler directement. De tels réseaux pourraient être utilisés également pour d'autres organes des machines, par exemple pour réaliser des mémoires photoscopiques fixes par exemple ; en replaçant sur un tel réseau une plaque avec des carrés dont certains seraient transparents et dont d'autres seraient opaques, sur lesquels aurait été enregistrée l'information, on pourrait retrouver cette information de cette façon ; ces réseaux pourraient être utilisés pour bien d'autres choses que pour la lecture automatique, mais ils présentent des difficultés techniques qui pourront probablement être vaincues, et qui ont fait l'objet d'une demande de brevet assez détaillée que j'ai déposée l'année dernière. Mais je crois qu'il est possible d'entreprendre la construction d'une machine à lire répondant aux rapidités que nous avons envisagées tout à l'heure, au moins aux plus faibles d'entre elles, disons à un dixième de seconde par ligne de soixante caractères, sans faire appel à des constructions de ce genre, rien qu'avec les éléments dont on dispose actuellement dans le commerce.

Le procédé consiste à opérer de la façon suivante, qui rappelle la façon dont un œil humain ou animal procède pour

voir. Supposons un organe photo-sensible sur lequel nous projetons une image d'une partie I de texte comprenant quelques lettres d'une ligne, ainsi que certaines extrémités des lettres des lignes immédiatement au-dessus et au-dessous. Projetons ensuite sur le même organe l'image de la partie II du texte, avec la ligne du dessus et ici des morceaux de la ligne du dessous, des lettres du dessus et du dessous. Qu'allons-nous

Schéma 3 :



faire ? Nous allons comparer ce que nous avons, ce que nous obtenons dans les deux cas ; nous cherchons dans le résultat obtenu à partir de II une partie qui puisse se superposer exactement à une partie de ce que nous avons obtenu avec I. Il faut donc établir une correspondance entre deux aires, les projections dans la machine de la partie commune à I et II.

C'est une telle correspondance biunivoque faisant correspondre les noirs et les blancs qu'établit l'œil quand on lit. L'œil opère par des mouvements saccadés, s'arrête sur une petite partie du texte, sur la partie suivante et chaque fois établit un raccord entre les deux parties. Et ceci non seulement pour la lecture mais pour toute opération de vision quelle qu'elle soit. Ce qui montre que l'œil opère bien ainsi, c'est que lorsqu'on voit un certain nombre de barres verticales parallèles, les cheminées, des barreaux d'une grille par exemple, si on veut les compter et si le champ visuel est assez large pour en englober trois ou quatre par exemple, ensuite il faut déplacer l'œil pour voir les suivantes ; mais alors on se trompe souvent et il est difficile de faire le raccord ; on fait souvent une erreur d'une unité ; il faut prendre le doigt ou un objet, le placer suivant le rayon visuel de la barre à laquelle on s'est arrêté pour pouvoir reprendre le champ de vision suivant et compter les objets de cette façon.

L'œil procède ainsi par raccords successifs. Par conséquent, quand nous envisageons une aire assez grande, nous

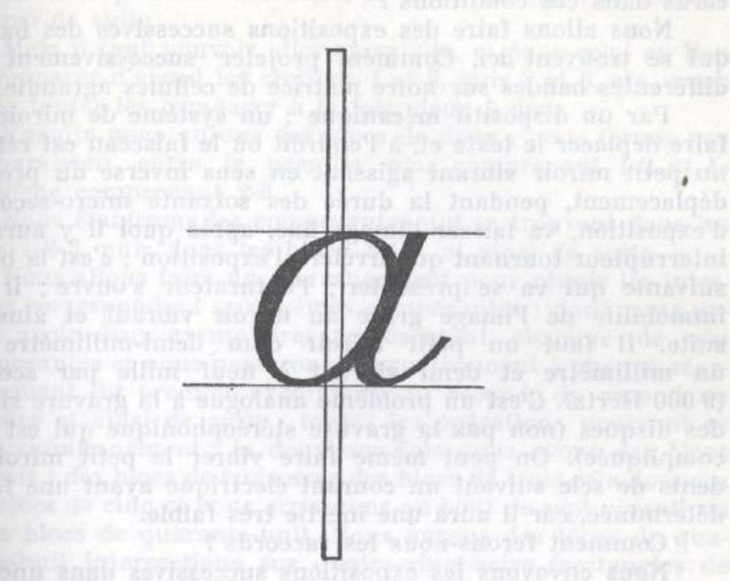
regardons successivement des aires empiétant les unes sur les autres et recouvrant l'aire globale que nous désirons explorer. Ceci fait penser à la notion absolument fondamentale de *variété topologique*, en mathématiques. Quand on décrit une variété topologique, on a un certain nombre de morceaux qui la représentent ; chaque point de la variété a une image dans un ou plusieurs de ces morceaux ; chaque morceau peut être appelé une carte ; l'ensemble des cartes, c'est l'*atlas* de la variété et entre deux morceaux de la variété on a ce que j'ai appelé un raccord ; je ne suis pas l'auteur de la notion de variété mais j'ai beaucoup contribué à la propager.

Je crois donc qu'on peut affirmer que l'œil non seulement humain mais animal procède toujours à la description de son champ visuel par la notion de variété topologique avec des correspondances, des raccords entre les différentes parties ; cette notion de variété topologique est donc essentielle pour la vision, elle l'est peut-être aussi pour d'autres perceptions sensorielles.

Je pense donc qu'il faut envisager les choses ainsi : l'œil regarde d'abord un morceau qui est enregistré dans une partie de la mémoire des couches optiques, et ensuite passe dans une autre partie du cerveau : l'image suivante vient prendre la place de la première, et il y a un mécanisme qui établit le raccord entre les deux ; non seulement entre les deux mais entre un certain nombre de visées successives, d'aires successives.

Cette notion de variété topologique décrite avec des raccords entre les différentes parties était autrefois très peu connue en mathématiques ; la première fois que j'en ai entendu parler, c'est dans une conversation particulière avec le mathématicien Caratheodory auprès de qui j'étais boursier Rockefeller. Par la suite, j'ai introduit cette notion dans mes cours en la précisant. Je l'ai en particulier exposée dans un mémoire où j'ai démontré le théorème de Stokes pour une variété décrite de cette façon et non au moyen de triangles. Je ne sais pas à qui elle est due ; dans les premières éditions de *Die Idee der riemannschen Fläsche,* Hermann Weyl parlait surtout de surfaces triangulées, il ne parlait pas beaucoup de surfaces définies par des voisinages, avec des raccords ; par contre, dans le mémoire, entre 1920 et 1925, de Tibor Rado sur les surfaces de Riemann, il est question de variété définie par des voisinages : il démontre même qu'une variété définie par des voisinages à deux dimensions peut toujours être triangulée à condition qu'elle soit de caractère dénombrable.

Schéma 4 :



Revenons à notre dispositif de lecture.

Prenons d'abord une aire englobant largement la ligne : il y aura des morceaux de la ligne du dessus qui vont apparaître et des morceaux de la ligne du dessous; prenons ensuite une aire de lecture proprement dite qui sera très étroite, une très petite bande, perpendiculaire à la direction de la ligne et projetons-la, très agrandie, sur l'organe de lecture. Celui-ci sera un rectangle qui pourra avoir par exemple huit millimètres sur vingt centimètres et pourra comprendre quatre rangées de, chacune, quatre-vingt-seize cellules. C'est certainement suffisant pour pouvoir déceler tous les détails de cette bande coupant la lettre a, qui occupera un peu moins d'un tiers de l'aire de lecture et dans certains cas peut-être un peu plus.

Nous utilisons les cellules du commerce. Ce sont de petites cellules d'un peu moins de deux millimètres de diamètre, avec un temps de montée de soixante micro-secondes environ ; donc nous pouvons envisager dix mille expositions par seconde, ce qui conduit bien à une matrice de 4×96 photodiodes ; nous aurons donc quatre cents fils environ partant de cette matrice, puisque ces cellules ont une enveloppe métallique qui peut être mise à la masse, au moins dans certaines réalisations.

Comment va se présenter le problème essentiel des raccords dans ces conditions ?

Nous allons faire des expositions successives des bandes qui se trouvent ici. Comment projeter successivement ces différentes bandes sur notre matrice de cellules agrandie ?

Par un dispositif mécanique : un système de miroirs va faire déplacer le texte et, à l'endroit où le faisceau est rétréci, un petit miroir vibrant agissant en sens inverse du premier déplacement, pendant la durée des soixante micro-secondes d'exposition, va laisser l'image fixe, après quoi il y aura un interrupteur tournant qui arrêtera l'exposition ; c'est la bande suivante qui va se présenter ; l'obturateur s'ouvre ; il y a immobilité de l'image grâce au miroir vibrant et ainsi de suite. Il faut un petit miroir d'un demi-millimètre sur un millimètre et demi vibrant à neuf mille par seconde (9 000 Hertz). C'est un problème analogue à la gravure simple des disques (non pas la gravure stéréophonique qui est plus compliquée). On peut même faire vibrer le petit miroir en dents de scie suivant un courant électrique ayant une forme déterminée, car il aura une inertie très faible.

Comment ferons-nous les raccords ?

Nous envoyons les expositions successives dans une mémoire tampon qui doit être assez vaste parce que l'identification des caractères successifs variera suivant les caractères ; il faut pouvoir prendre du retard à certains moments. Nous aurons des intersections formées de segments noirs. Les composantes nouvelles apparaissent.

Nous allons donc pouvoir, en prenant nos intersections de deux en deux, prenant la première et la deuxième, la deuxième et la troisième, la troisième et la quatrième, établir quels sont les segments d'intersection appartenant à une même composante. Mais pour faire ceci il va être commode d'opérer de la façon suivante : nous allons énumérer les intervalles d'intersection qui sont constitués de points pris parmi les 96 points de la rangée ; le premier va de 0 à 5 par exemple ; le deuxième de 15 à 21 et ainsi de suite ; ce sont des couples de nombres que nous avons à écrire les uns au-dessous des autres et qui nous donnent la description complète de notre première section ; ensuite la description de la seconde section ; la comparaison des nombres qui décrivent la première section, et des nombres qui décrivent la seconde permet de voir quels sont les intervalles appartenant à une même composante et ceux qui n'appartiennent pas à une même composante.

Nous allons les ranger dans des mémoires différentes. Nous mettrons les unes derrière les autres les mémoires qui vont correspondre aux différentes composantes ; la première sera dans la première mémoire, la deuxième dans la seconde et ainsi de suite.

Mais il faut pouvoir aller assez vite, et pour cela, au lieu de comparer d'abord les sections 1 et 2, puis 2 et 3, etc., nous allons toutes les comparer à la fois, deux à deux.

Ensuite nous aurons des blocs de deux ; nous ferons nos comparaisons entre le premier bloc comprenant 1-2 et le deuxième comprenant 2-3.

Nous établirons les composantes qui se trouvent dans les blocs 1-2-3, puis dans les blocs 3-4-5, et ainsi de suite.

Nous allons faire un réarrangement pour réunir les intervalles correspondant aux mêmes composantes ; donc nous devons avoir deux exemplaires représentant chacune de nos composantes et nous passerons alternativement à chaque réarrangement du premier exemplaire au second, du second au premier et ainsi de suite ; toutes les opérations pourront se faire simultanément ; la deuxième fois nous avons des blocs de trois ; des blocs de trois avec des blocs de trois cela donnera des blocs de cinq et nous arriverons au bout de sept opérations à des blocs de quarante-huit. Nous aurons des blocs de quarante-huit intersections sur quatre-vingt-seize (rectangles de rapport 1/2).

Nous mettrons de côté un de ces rectangles, nous prendrons le suivant et nous chercherons les connexions entre les deux rectangles. Nous admettons qu'une lettre puisse empiéter sur trois rectangles, ce qui peut arriver pour le W. Dans certains alphabets il est très large. Tel est, en gros, le dispositif.

Une fois que nous aurons obtenu les composantes connexes, nous aurons une lettre, M par exemple, et nous connaîtrons pour cette lettre les résultats des intersections avec des droites ou même avec des droites dans la direction perpendiculaire.

Comment déterminer le caractère ? Nous avons quatre coordonnées qui indiquent les quatre bords extrêmes de la lettre et le rectangle dans lequel elle est inscrite.

Nous allons étudier d'abord les intersections de la lettre dans son rectangle ; nous allons étudier les intersections de la lettre avec les médianes ; nous aurons un certain nombre de segments d'intersection et nous allons coder l'intersection de manière appropriée.

Nous étudions les intersections avec les médianes et avec quatre droites qui sont situées à 1/16 de la largeur du rectangle à partir du bord. 1/16, c'est assez caractéristique. Nous avons ainsi six tests.

De quelle manière chaque test va-t-il se présenter ? Cha-

que intersection sera désignée par un code dont le premier élément va indiquer la longueur de l'intersection ; on peut distinguer trois longueurs : si la longueur est plus petite que la moitié de la lettre, si elle dépasse la moitié de la lettre ou si elle occupe toute la hauteur de la lettre à 1/16 près. Puis un deuxième chiffre indiquera si le segment intersection touche en haut, si son milieu est dans le tiers supérieur, dans le tiers central, dans le tiers inférieur, ou s'il touche en bas. Au moyen d'un code très simple nous pouvons donc décrire les intersections, de manière assez grossière pour que la même lettre écrite dans des alphabets différents nous donne le plus souvent possible le même résultat, de façon que les résultats des tests soient en nombres aussi faibles que possible. Il faut différencier suffisamment les résultats des tests effectués pour distinguer les différentes lettres, mais il faut les distinguer assez peu, les confondre le plus possible de façon à ne pas avoir trop de résultats différents, ce qui rendrait l'identification plus difficile : on peut toujours trouver un moyen terme.

Nous pouvons donc nous limiter à six intersections et les décrire de la manière que je viens d'indiquer. Ces six intersections sont suffisantes dans 95 à 98 % des cas pour déterminer le caractère parmi les cinq cent douze caractères en question ; mais il y a tout de même 2 % des cas environ dans lesquels il y a un doute.

Que faire ? Il faut utiliser des tests plus précis. On peut comparer deux intersections successives.

Nous aurons par exemple apparition d'un nouveau segment noir. L'inverse de l'apparition est la disparition d'un segment en passant d'une intersection à la suivante.

On peut rencontrer le phénomène complémentaire, si nous remplaçons le noir par du blanc et le blanc par du noir.

Ce sont les quatre types d'événements qui en passant au complémentaire ou en changeant de sens se ramènent d'ailleurs à un seul type d'événements qui peut se présenter de quatre façons différentes.

Nous examinons à partir de chacun des bords de la lettre, à droite, à gauche, en haut et en bas quels sont les quatre premiers tests du second ordre qui se présentent. On détermine les résultats de ces tests, mais on n'y fera appel que dans les cas où ce sera absolument nécessaire ou bien ils serviront à titre de redondance.

Voici comment va se présenter maintenant l'identification d'une figure.

Nous avons les résultats codés des six intersections ; nous avons les résultats codés des seize tests du second ordre, puisque nous prenons les quatre premiers événements à partir de chaque bord (s'ils n'existent pas ce sera zéro partout) ; cela nous fait donc 16 + 6 = 22 tests et nous ajoutons enfin un dernier test, le rapport des deux dimensions du rectangle que nous classons en quatre ou cinq valeurs. Nous allons opérer ainsi : nous considérons une grande matrice de cinq cent douze lignes, et environ mille colonnes. Chacun des vingt-trois tests est susceptible d'un certain nombre de résultats ; l'expérience a montré que ce nombre était toujours inférieur à soixante-quatre ; il ne dépasse pas une vingtaine pour certains tests. Dans le cas maximum, on a trouvé cinquante-quatre résultats, mais nous n'avons pas exploré tous les alphabets, il semble qu'on ne dépassera pas soixante-quatre et si les résultats possibles étaient trop nombreux, on s'arrangerait pour en diminuer le nombre en confrontant des résultats différents.

Nous grouperons donc les colonnes par séries d'au plus soixante-quatre, et chaque groupement de colonnes de la matrice correspondra aux résultats d'un test.

Nous avons un certain résultat pour le premier test ; il correspond à une certaine colonne. Nous envoyons une impulsion dans cette colonne (il s'agit d'une matrice de mémoire fixe du type Kilburn, d'un temps d'accès rapide, 5/10 de microsecondes, beaucoup plus rapide que les mémoires à tores). Chaque ligne horizontale correspond à une des cinq cent douze figures possibles. Pour tous les caractères interdits d'après ce résultat de test, nous recevons une impulsion sur les lignes correspondantes.

A chaque extrémité de ligne nous plaçons un compteur, et nous voyons sur chaque compteur combien de fois le caractère correspondant a été éliminé, une fois tous les tests exécutés ; théoriquement le bon caractère ne doit pas avoir été éliminé du tout et tous les autres doivent l'avoir été un certain nombre de fois. Par un procédé de dichotomie nous regardons s'il y a un zéro dans la première moitié des lignes et dans la seconde ; celle qui comporte un zéro est encore divisée en deux, et ainsi de suite.

Avec huit opérations nous tombons sur le bon caractère, chaque opération demandant une fraction de microseconde. Cette partie-là va beaucoup plus vite que la séparation des composantes.

En général, tous les caractères auront été éliminés au moins une fois parce qu'il y aura des défauts, mais, comme nous aurons fait vingt-trois tests, et que six tests suffisent, la détermination sera extrêmement redondante et nous verrons une coupure nette : si tout a bien marché, nous aurons un

caractère qui aura été éliminé une, deux, trois fois et les autres au moins dix à quinze fois.

Si l'on n'aperçoit pas de zéro, on retranche un à tous les compteurs et on recommence jusqu'à ce qu'on trouve un zéro.

Le travail n'est pas entièrement fini maintenant que nous avons déterminé la figure : il y a encore *l'interprétateur*, organe qui retient en mémoire les trois ou quatre figures précédentes ; il regarde s'il y a une lettre et un accent, si l'accent est bien placé au-dessus de la lettre, auquel cas c'est une lettre accentuée, sinon ce sera peut-être une apostrophe.

S'il y a trois barres horizontales, une en haut, une au milieu, étant plus courte, et une en bas, il dira : c'est un Ξ.

Dans bien d'autres cas, s'il y a une barre verticale, on regarde si les autres lettres sont dans un alphabet bâton ; alors la barre verticale peut être un 1, un l minuscule ou un I majuscule et le contexte permet de décider. Sinon la barre verticale ne pourra pas être un I ; ce sera peut-être un 1, quoique le 1 devrait avoir de petits empattements, mais qui peuvent avoir échappé. *L'interprétateur* devra renfermer un programme assez important, mais moins important que l'identificateur. A la sortie de l'interprétateur, les résultas seront envoyés dans une bande magnétique.

Ces procédés de lecture automatique ont une portée beaucoup plus grande que l'unique lecture des textes, ce seront des procédés généraux de reconnaissance des figures ; et ces problèmes se posent dans l'étude des clichés de chambres à bulles obtenus par les physiciens et dans l'étude des clichés astronomiques où chaque étoile est représentée par un petit spectre ; il s'agit de savoir quelles sont les étoiles en état d'émission pour une raie déterminée. Le travail est impossible actuellement en raison du grand nombre d'opérations nécessaires, mais il pourrait être fait en un an pour l'ensemble du ciel avec une machine de ce genre.

Un autre problème, c'est le repérage des fusées cosmiques ; dans le cas où la distance de la fusée au soleil est faible vis-à-vis de la distance aux autres étoiles, ce qui sera vraisemblablement le cas pendant de nombreuses années, un procédé simple permet à la fusée d'envoyer ses coordonnées ; c'est une question dont j'ai eu l'occasion de m'occuper dernièrement, à la demande de M. Pierre Auger.

Par contre, si la fusée est à une distance du soleil comparable à celles des autres étoiles, ce qui pourra se trouver dans l'avenir, des procédés analogues à ceux dont je viens de parler pour la lecture automatique permettront de déceler des configurations d'étoiles, et par suite de déterminer avec une certaine précision la position de la fusée.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Je remercie beaucoup M. de Possel de son très intéressant exposé ; je suis sûr que tous ici nous avons pris à cet exposé le plus vif intérêt ; ce matin nous étions dans des considérations profondes et intéressantes sur le plan général et philosophique ; ce soir l'intérêt est autre ; mais il n'en est pas moins vif, d'entendre l'exposé d'une recherche précise sur un problème également précis.

Peut-être les interventions seront un peu moins nombreuses, car le domaine abordé ce soir est strictement technique et nous serons peut-être peu nombreux à oser nous y lancer ; j'espère cependant que, soit sous forme de questions, soit sous forme d'objections plus rarement, certains d'entre vous voudront bien prendre la parole.

M. MOLES.

Deux choses m'ont frappé dans l'exposé. D'une part, il y a une question très simple ; vous disiez : il n'y a pas de systèmes de cellules photo-électriques atteignant au réseau de cellules dans lequel le problème des connexions ne soit pas plus difficile que celui des cellules elles-mêmes ; mais si, il y a un système et je n'ai pas compris pourquoi vous ne l'avez pas évoqué : c'est celui des dissecteurs de Farnsworth ou des iconoscopes des caméras de télévision dans lequel le système de connexion est fait par balayage, avec éventuellement (voir le procédé AMPEX) mise en mémoire, ce qui en gros me semble recouvrir l'aspect technologique et fonctionnel du problème.

M. DE POSSEL.

Il s'agit d'un travail très simple, de mettre dans un ordre déterminé les impulsions successives reçues ; ici nous aurions à effectuer sur les courants qui nous arrivent par les

fils des opérations aussi compliquées que le raccord entre deux aires, la correspondance biunivoque entre deux aires.

J'ai évoqué cette correspondance qui devait probablement se faire dans le cerveau avec deux fixations successives de l'œil sur deux plages ayant une partie commune ; l'œil fixe une première plage et ce qui arrive aux extrémités des fibres du nerf optique doit être transféré dans d'autres cellules ; ces fibres sont prêtes à recevoir la deuxième exposition et il y a une interconnexion qui doit se produire entre les deux ; ce sont des dispositifs permettant de telles interconnexions qui devraient être réalisés et qui, eux, sont très compliqués ; tandis que dans le cas de l'iconoscope de la télévision, c'est un simple rangement dans un ordre déterminé toujours le même ; c'est séquentiel.

M. MOLES.

C'est purement séquentiel.

A ce sujet il y a une autre application que vous n'avez pas évoquée, une application du dispositif que vous suggérez : tout le monde sait qu'au point de vue technologique les procédés qui sont utilisés actuellement en télévision sont stupides, puisque ces procédés consistent à explorer d'une façon cartésienne tous les points d'une image alors qu'on sait que pour des raisons variées ils n'ont pas changé depuis un vingt-quatrième de seconde jusqu'aux suivants.

M. DE POSSEL.

Très peu ont changé.

M. MOLES.

On envisage actuellement des procédés comme le procédé de prédiction de ligne ou de prédiction d'image consistant à parier que la ligne N + 1 sera pareille à la ligne N, et à envoyer des corrections plutôt que d'envoyer une nouvelle exploration ; mais on envisage aussi un nouveau procédé par transmission des lignes caractéristiques d'une image.

M. DE POSSEL.

Qu'entendez-vous par là ?

M. MOLES.

Nous avons un dessin animé ; il y a pour le transmettre le procédé cartésien de l'analyse de télévision actuelle, mais on peut prendre un télégraphiste travaillant vite et un caricaturiste à l'autre bout ; celui-ci trace une diagonale, puis telle et telle ligne, petit à petit il complète et un certain nombre de lignes du décor resteront valables d'une image à l'autre ; c'est ainsi que sont faits les décors des dessins animés, par corrections successives. Ceci s'applique aussi à la photographie avec quelques retouches. Or le procédé que vous proposez permet justement de réaliser exactement cette analyse.

M. DE POSSEL.

Ce procédé a été suggéré par des perfectionnements à la télévision ; c'est l'origine du système dont j'ai parlé.

M. MOLES.

Ce qui montre en tout cas la multiplicité d'applications.

M. DE POSSEL.

C'est avec mon fils que j'en avais parlé, c'est lui qui a eu l'idée d'un procédé destiné à faciliter les transmissions de télévision ; nous étions arrivés à un organe de ce genre.

M. LE LIONNAIS.

Je voudrais d'abord dire combien j'ai admiré l'ingéniosité de la méthode proposée par M. de Possel, qui montre en même temps la complexité de quelque chose qui pouvait paraître assez simple, la reconnaissance d'une lettre imprimée ; c'est plus compliqué qu'on ne l'imaginerait. Il n'y a pas très longtemps j'ai été au C. E. R. N. ; j'ai vu des photos de chambres à bulles et on m'a exposé le même désir d'avoir des procédés d'analyse.

Mais je voudrais m'écarter un peu de l'exposé pour faire une intervention relative à l'ensemble du Colloque, intervention qui prendra naissance dans cet exposé néanmoins.

M. de Possel nous a parlé de l'information contenue dans

un texte imprimé, et il ne s'agissait pas de la pensée du poète mais de la manière dont l'imprimeur avait choisi certains caractères au lieu de certains autres ; c'était cela son information et j'entends bien que ce devait être cela. Et alors, je voudrais revenir sur le sujet de ce Colloque ; je crois qu'il y a dans tous les colloques où le mot information figure dans le titre un malentendu très grave, qu'il importe de dissiper. Je me suis rendu compte de ce malentendu en jetant un coup d'œil sur les textes qui nous ont déjà été remis à l'avance.

Il y a les informations, sélectives, mathématisées, de Shannon, et celles qui leur ressemblent en ce sens qu'elles sont mathématisées et que quand on connaît l'une on doit connaître l'autre (informations de Fisher), etc. Mais ces informations-là sont assez peu connues des philosophes en général, et mériteraient leur réflexion.

Toutefois l'information sémantique, structurale, personnelle (la manière dont retentit dans notre subjectivité l'introduction d'une connaissance), tout cela est désigné par le même mot alors que les choses sont très différentes.

Ce qui serait peut-être très important, et c'est peut-être l'intérêt de ces colloques, c'est que même lorsqu'ils constituent en partie des dialogues de sourds, on s'en aperçoive ; quand on s'en aperçoit, on a fait un progrès ; on s'aperçoit qu'on est venu chacun avec un certain sens du mot information, et à condition de ne pas discuter pendant des heures en prenant l'un un sens, l'autre un autre, sans jamais faire le moindre effort pour comprendre le sens du premier ou du second, le simple fait de se rendre compte qu'un mot a plusieurs significations c'est un progrès. Et dans ce sens-là, je répondrai à mon ami Mandelbrot en lui disant qu'il peut y avoir une certaine utilité à se rendre compte que pendant un certain temps on a fait du verbalisme et on fait le serment de ne plus continuer. Cela peut avoir un certain intérêt.

Il pourrait y avoir une sorte de théorie générale de l'information et je donne un nouveau sens personnel au mot information, tâchant de montrer comment peut-être avec de l'information sélective on peut bâtir de l'information structurale, qui est assez objective, et comment avec celle-ci on peut faire de l'information sémantique qui est inter-subjective. Il y a un travail à faire mais, tant qu'il n'est pas fait évitons, dans nos discussions sur l'information, de prendre le même mot dans des sens différents.

Je m'excuse de cette intervention qui peut apparaître comme négative mais qui à mon avis est le meilleur moyen de faire sortir quelque chose de positif.

M. LE PRESIDENT.

Je remercie beaucoup M. Le Lionnais ; peut-être M. Simondon qui est un peu l'âme de ce congrès pourrait répondre sur ce point.

Ce qu'a dit M. Le Lionnais s'adresse plus à notre programme général qu'à ce qu'a dit M. de Possel.

M. LE LIONNAIS.

Ce n'est pas une critique mais l'espoir qu'on se rende compte qu'on emploie le même mot dans des sens différents.

M. LE PRESIDENT.

C'est une suggestion très intéressante ; il y aura une séance de synthèse que notre collègue M. Hyppolite dirigera et même assumera, et alors on pourra revenir sur les exposés faits et préciser le sens où tel et tel orateurs ont pris le mot.

M. SIMONDON.

Il faut remonter à l'ontogénèse du colloque pour expliquer comment se produisent des difficultés et des possibilités de rencontre. L'idée de l'organisation de ce colloque était partie du fait que la notion d'information employée à l'origine dans des sciences exactes, et à l'origine même, en technologie, pour la transmission par les câbles sous-marins, est maintenant une notion qui a des *franges*, qui est utilisée en dehors de son domaine propre de naissance, quelquefois métaphoriquement, quelquefois abusivement peut-être ; mais le fait qu'on emprunte une notion montre qu'il est besoin d'un usage et l'usage comme fonction naissante préexiste ici à un outil pleinement satisfaisant. Autrement dit, nous aurions souhaité que, partant de cet usage qui est peut-être abusif mais qui manifeste une tendance, il y eût élaboration d'une voie de recherche pour un élargissement de la notion d'information ou d'organisation, mais qu'on prît bien conscience des besoins qui existent dans les sciences exactes, et peut-être aussi dans les sciences moins exactes qui sont les sciences humaines en voie d'organisation, pour généraliser cette notion d'infor-

mation ; c'est pourquoi nous avons cherché à le faire ; la notion de franges du concept d'information, c'est le regretté Merleau-Ponty qui l'avait définie il y a un an, quand nous organisions le colloque.

M. LE LIONNAIS.

Dans les sciences exactes il n'y a pas une notion d'information avec des franges mais des notions bien différentes.

M. SIMONDON.

Les franges sont dans les sciences humaines, parce qu'il y existe un besoin.

M. HYPPOLITE.

Cela me dépasse bien que j'aie suivi avec passion ; cependant une chose m'a frappé ; dans un premier cas, dans le cas où il s'agit du rapport entre deux domaines, et de la façon dont on les fait correspondre l'un à l'autre, tu assimiles complètement cela à ce qui peut se passer sans doute dans un cerveau humain.

M. DE POSSEL.

Ou animal.

M. HYPPOLITE.

C'est très intéressant parce que c'est en même temps pour nous une correspondance de la façon dont la machine à lire fonctionnera et dont nous fonctionnons nous-mêmes ; mais, lorsque tu as envisagé l'identificateur qui procède par élimination, il y a là une complexité considérable dont je me demande (c'est une question que je me pose) si tu crois qu'elle correspond à la façon dont nous procédons, car ce n'est plus la même chose ; il y aurait une sorte de procédé qui correspond dans un cas à celui de notre fonctionnement, et un autre procédé qui n'y correspond peut-être pas.

M. DE POSSEL.

Je n'en sais rien. Je crois que le procédé d'identification que nous utilisons est beaucoup plus compliqué que celui-là.

M. FESSARD.

Je ne crois pas que cela se passe toujours de la façon dont vous avez parlé, par des raccords ; il est très différent de lire un texte selon qu'il est écrit en un langage incompréhensible pour nous, dans une langue étrangère qu'on ne connaît pas, ou bien si on le comprend ; dans ce cas le mécanisme de la *signification* intervient au moment où on le lit, et vous savez par expérience que nous lisons les mots et même des fragments de phrases comme un tout — nous les « comprenons » — on les devine quelquefois d'après le contexte, et ces opérations mentales précèdent le mouvement de l'œil plutôt qu'elles ne le suivent ; c'est une anticipation ; le mécanisme est différent de celui que vous imaginez.

M. DE POSSEL.

Celui que j'ai imaginé correspond au cas où les lettres n'ont aucune signification ; quand on connaît la signification on peut imaginer un dispositif permettant d'aller plus vite.

De même, dans la machine à lire, il y a bien des cas où l'on peut simplifier le processus ; si l'on connaît déjà les quatre lignes fondamentales de l'écriture, le haut des minuscules, le bas des minuscules, le haut des longues du bas et le bas des longues du bas, l'identification pourra être plus simple ; on pourra même utiliser dans la machine un identificateur spécial simplifié pour ce cas-là, et on ne ferait appel à l'identificateur général qu'en cas de besoin.

M. FESSARD.

Il y a aussi des mots courants qui reviennent tout le temps, comme les conjonctions ; ne serait-il pas plus économique de prévoir, pour un certain répertoire des mots très fréquents, une réponse d'emblée de la machine ?

M. DE POSSEL.

Cela me semble difficile au moins au début. Je ne l'entrevois pas comme possible dans le début des machines à lire.

M. FESSARD.

Les reconnaissances se font par une sorte de congruence entre un pattern extérieur et un pattern intérieur qui existe déjà, et cela se fait instantanément, comme le montrent les expériences tachistoscopiques.

M. DE POSSEL.

Plus ou moins, s'il s'agit de lettres qui ne sont pas usuelles, de lettres d'une langue étrangère...

M. FESSARD.

A ce moment-là, nous sommes comparables à la machine.

M. JUTIER.

Une opposition fondamentale entre l'humain qui lit et la machine de M. de Possel, c'est que M. de Possel cherche une reconnaissance de tous les caractères possibles et imaginables en dehors de toute signification, alors que l'humain lisant cherche la reconnaissance la plus rapide possible de groupes les plus grands possibles avec le plus de significations possibles.

Si on lit un journal un peu vite on lit des mots à la place d'autres.

M. DE POSSEL.

Même pour envisager le plus rapidement possible la lecture de mots assez longs, l'œil ne pourra pas les englober d'un seul coup, il devra se reporter et il fera nécessairement un raccord entre la fin de ce qu'il a vu la première fois, et ce qui est le plus à gauche et le plus à droite dans son second champ de vision.

Quelquefois il pourra deviner ce qu'il a sauté, mais, dans d'autres cas, si le mot présente quelques difficultés, il devra reprendre avec le second champ de vision l'extrémité droite de ce que contenait le premier ; il devra faire le raccord en ayant conservé en mémoire l'extrémité droite de ce qu'il avait avec la première vision et raccorder avec ce qui est le plus à gauche dans la deuxième.

M. RICHARD.

Une simple question : vous avez dit à un moment : s'il y a doute, c'est le contexte qui décidera. Je n'ai pas saisi en quoi.

M. DE POSSEL.

Si vous avez en caractère bâton une barre verticale, s'il y a un point avant vous direz que c'est un *I* ; si ce n'est pas au début d'une phrase, il n'y a aucune raison, si c'est un mot assez court, de ne pas dire que c'est un petit *l*, d'après le contexte ; si c'est un mot assez long cela peut être un *I* au début d'un mot aussi bien qu'un *l* ; là, la machine laissera le doute et ne pourra pas décider.

Alors, peut-être pourrait-on voir quelle est la lettre suivante et chercher une probabilité pour que ce soit un *I* ou un *l*.

M. RICHARD.

La redondance n'intervient en somme qu'à ce niveau ; le système de décodage portant sur la lettre même laisse une ambiguïté.

M. DE POSSEL.

Non, la redondance interviendra chaque fois qu'il y aura des défauts dans l'impression. Lorsque la ligne verticale intervient à la séparation entre une zone noire, imprimée, et une zone blanche, il y aura un grand nombre d'intervalles successifs noirs et blancs dépassant le nombre des intervalles

permis, admis, comme étant de huit ; s'il y en a plus il faut éliminer cette section : nous sommes à la limite d'une zone blanche et d'une zone noire.

Il y a beaucoup d'autres cas ; il se peut qu'il y ait de petites taches sur le papier, pouvant tromper l'identificateur ; le résultat de certains tests ne sera pas ce qu'il devrait être. Ce qui arrive le plus souvent, c'est qu'il y ait des manques dans l'impression, des parties qui devraient être noires et qui sont blanches. Le résultat des tests sera faux, il ne correspondra pas à la lettre.

C'est pourquoi j'ai dit que dans le cas théorique nous devons avoir un compteur marquant zéro, tous les autres devant marquer un nombre assez important, mais pratiquement aucun compteur ne marquera zéro bien souvent parce que des tests n'auront pas bien fonctionné ; c'est pourquoi la redondance est très nécessaire. Elle est assez forte puisque six tests suffisent en principe et il y en aura vingt-trois. Il est impossible de connaître le résultat à priori tant que nous n'avons pas une machine à notre disposition ; nous avons essayé de faire des intersections sur un texte très agrandi ; il faut un temps considérable pour le faire à la main ; nous avons passé des mois sans arriver à rien ; il faut une machine, on ne peut le faire à la main ; nous avons pris une affiche de la Faculté agrandie énormément et nous avons fait des sections ; au bout d'un mois on avait fait une lettre et demie ; c'est impossible...

M. RICHARD.

Je m'excuse de reprendre la parole, mais il me semble que la redondance n'intervient que dans des cas exceptionnels, lorsque la typographie est mauvaise notamment ; c'est important si l'on compare votre modèle de schéma mécanique avec ce qui se passe effectivement dans la lecture parce qu'il me semble que dans la lecture la redondance, c'est-à-dire les dépendances séquentielles entre les différentes lettres, joue un rôle très important ; il est évident que l'information sémantique joue un rôle capital, mais on a trop tendance à négliger le rôle joué par les redondances dans les différentes lettres.

M. DE POSSEL.

Le fait que l'on connaît les mots usuels...

M. RICHARD.

On a montré que la durée de lecture est une fonction inverse de la redondance.

M. DE POSSEL.

Nous devons imaginer une machine ne tenant pas compte de cette redondance ; c'est un autre problème ; cela pourra être utilisé plus tard pour rendre les machines plus rapides, mais, au début, nous devons faire comme si la machine ignorait les mots. Le texte étant généralement bien imprimé, la typographie est bonne, dit-on ; ce n'est pas vrai. Avec un fort grossissement on voit un grand nombre de défauts.

M. MOLES.

Il y a les textes en hélio.

M. DE POSSEL.

Il y a aussi une question de seuil dont je n'ai pas parlé ; si les lettres sont constituées de petits points ou si on veut négliger les petits défauts, il faudra travailler à un seuil relativement élevé ; des quatre-vingt-seize points verticaux dont je parlais il ne faudra prendre que la moitié, les réunir deux par deux ou même, dans certains cas, quatre par quatre. Le seuil sera variable, pour une qualité d'impression déterminée il ne faudra pas descendre au-dessous d'un certain seuil de séparation ; le seuil est très important et on peut même imaginer des machines plus perfectionnées déterminant elles-mêmes leur seuil, des machines à seuil variable et auto-déterminé.

Il y a bien d'autres choses dont je n'ai pas le temps de parler, bien d'autres réflexions suggérées par le problème de la lecture automatique.

M. BECK (traduisant en français ce que M. Whitfield vient de dire en anglais).

M. Whitfield dit que les analyses de la connaissance des mots par les sons ont comporté des travaux où l'on a essayé de couper ces sons en bandes assez grossières.

M. DE POSSEL.

Dans le temps ?

M. BECK.

Des bandes de fréquence.

M. MOLES.

Des bandes de fréquence d'une demi-octave.

M. BECK.

Ces machines sont incapables de distinguer les sons des mots ; même les sons des symphonies ; elles essayent d'interpréter des sons musicaux comme étant du langage.

M. MOLES.

La machine devient maniaque ; elle cherche à interpréter à toute force.

Si on lui donne une symphonie elle tient absolument à la traduire en langage.

M. BECK.

Par analogie, est-ce que votre machine ne cherchera pas à interpréter à toute force ?

M. DE POSSEL.

Si on lui donne quelque chose qui ne soit pas un texte ?

Si nous avons une composante connexe trop longue par rapport à sa hauteur, la machine dira qu'elle ne connaît pas. Le premier test, qui est le rapport des deux dimensions du rectangle, ne donnera rien.

Si nous avions quelque chose ne correspondant à aucune lettre, que va-t-il se passer ? Nous allons séparer les composantes connexes.

M. HYPPOLITE.

Pourra-t-on faire la même chose avec la parole ? Votre problème, c'est que la machine à lire ne considère au fond que les signes écrits et n'identifie que des constellations, au sens de Mallarmé ; mais pourra-t-on parler aux machines ?

M. MOLES.

Cela existe : le sonagraphe.

M. HYPPOLITE.

Il y a peut-être une machine identifiant...

M. DE POSSEL.

Je ne suis pas au courant, mais il y a eu des travaux.

M. MOLES.

Je peux peut-être essayer de répondre ; il y a quatre tentatives actuellement ; d'une part la tentative de Olson à la R. C. A., d'une machine à entendre qui doit remplacer la sténotypiste.

Cette machine ne reconnaît pratiquement que quelques phrases déjà inscrites dans la mémoire mais elle pourrait servir déjà à ouvrir les portes automatiquement.

Une deuxième tentative est parfaitement au point, qui est prête à passer dans l'industrie mais qui soulèverait des difficultés à l'échelle industrielle, c'est celle de Balachek au laboratoire Bell pour la reconnaissance des chiffres ; on peut énoncer au téléphone le numéro et on l'obtient.

M. DE POSSEL.

Il faut avoir l'accent américain.

M. MOLES.

Ils s'en sont assez bien tirés parce que c'est un accent difficile.

La tentative la plus intéressante, c'est celle de Dreyfus-Graf à Genève, qui a un véritable sténographe automatique auquel on parle un peu lentement et qui fait une sténotypie très voisine de ce que fait la sténotypiste, d'une façon parfaitement lisible, mais elle serait en querelle avec l'Académie française.

Enfin il y a une dernière tentative japonaise, la plus avancée actuellement dans ce domaine, mais je n'en ai vu que quelques résultats dans le Colloque Atala.

M. HYPPOLITE.

Nous dépassons l'objection que faisait Bergson à propos de la compréhension du langage en disant que quand les mots sont prononcés d'une certaine façon ou quand ils sont écrits, aucune machine ne pourrait servir, car on ne pourrait pas identifier des mots prononcés d'une façon différente, par des gens qui ont des façons différentes de parler ou des signes écrits de façon différente : il fallait une certaine souplesse ; mais nous sommes en train de répondre partiellement par la machine à cette question.

M. COUFFIGNAL.

Ma question arrive peut-être un peu tard, elle se rapporte aux questions de signification des signes ; je voudrais apporter une expérience que nous avons faite à propos d'opératrices de machines à écrire et à calculer. Une opératrice de machine à écrire qui connaît le sens des mots peut écrire couramment sans regarder son clavier ; une opératrice de machine à calculer pour laquelle il n'y a pas de sens global attaché à un groupe de chiffres, arrive, lorsqu'elle est extrêmement adroite, à saisir globalement sept chiffres ; la plupart arrivent à saisir globalement cinq chiffres ; celles qui n'arrivent pas à quatre doivent être éliminées ; l'opératrice normale doit saisir globalement et en les distinguant cinq chiffres et commander ses doigts pour les écrire d'une seule frappe sur le clavier. Les opératrices qui arrivent à sept chiffres sont exceptionnelles.

Une opératrice qui écrit un texte en lettres dans une langue étrangère opère exactement comme si elle écrivait des chiffres ; il faut qu'elle analyse chaque lettre séparément et qu'elle la frappe séparément ; là également, elle peut au maximum lire cinq lettres à la fois ; elle est obligée de décomposer les mots par groupes de cinq lettres. Lorsque le mot est plus court que cinq lettres, elle doit lire chaque mot, et dans un mot de plus de cinq lettres elle lit les lettres par groupes de cinq. Je crois donc que le fait de connaître la signification a une importance extrêmement grande pour l'opérateur humain, et conduit à une accélération très considérable dans l'inscription sur le calvier.

Cela peut avoir un certain intérêt pour la question.

M. ROSENBLITH.

Je ne suis pas aussi optimiste que M. Moles ; la plupart de ces machines opèrent simplement pour un vocabulaire très restreint avec une seule voix ; la normalisation, présupposée dans les lettres, n'existe pas pour la voix. On peut faire des analyses en termes de paramètres, ce qu'on appelle des *distinctive features*, mais c'est beaucoup plus près de la perception que le procédé démontré cette après-midi.

M. DE POSSEL.

Certains organes de la machine dont j'ai parlé ont une puissance beaucoup plus grande que ce qui sera utilisé la plupart du temps ; le séparateur de composantes connexes jouera relativement rarement. Il doit être capable de séparer jusqu'à huit composantes, mais cela n'arrivera peut-être jamais dans toute l'existence de la machine ; toutefois cela pourrait arriver une fois ; donc il faut prévoir pour certains organes de la machine une puissance beaucoup plus grande que celle qui aura à se déployer la plupart du temps ; ceci peut être rapproché de la puissance de certains organes humains permettant beaucoup plus que ce qu'on leur demande d'habitude, parce qu'il y a des cas exceptionnels dans lesquels on a besoin d'une telle puissance.

M. SIMONDON.

La machine décrite ici pourrait-elle, dans son principe tout au moins, servir à réduire le débit d'information d'un transmetteur ? Il y a une méthode qui a été utilisée pour le langage humain ; c'est la méthode du sonagraphe ; alors qu'il faut une bande passante de 3 000 Hertz pour trans-

mettre la voix en modulation téléphonique, il suffit d'une bande passante de 40 Hertz pour transmettre après codage les sons fondamentaux du langage humain et permettre à une machine réceptrice, après décodage, de restituer des sons constituant un langage d'excellente intelligibilité.

De même, par un procédé analogue mais transposé à une analyse spatiale, il y a dans la télévision un procédé qu'on appelle la comparaison des lignes ; on tient compte d'une ligne à l'autre uniquement des changements de brillance, et non plus du recommencement permanent en analyse complète pour tous les degrés.

Le procédé qui existe ici permettrait-il une compression de la quantité d'information transmise ?

M. DE POSSEL.

Le grand réseau sensible à quatre mille fils sur quatre mille fils le permettrait, mais le second dispositif où il y a une petite matrice ne le permettrait probablement pas.

M. SIMONDON.

Pourrait-on, à la réception, faire l'appareil inverse, qui, à partir du système codé redonnerait des images lisibles ? et y aurait-il gain à partir de la transmission directe ?

M. DE POSSEL.

Avec le premier système que j'ai décrit, certainement.

M. MOLES.

C'est pour ainsi dire un téléfax.

M. BRESSON.

Je voudrais savoir pour la lecture d'un manuscrit où en sont les travaux, s'il y en a, et s'ils ne doivent pas procéder en faisant des hypothèses à partir des connexions entre les lettres ?

M. DE POSSEL.

Au point de vue de la lecture de l'écriture manuscrite il faut d'abord distinguer entre l'écriture où le trait est petit, mince, vis-à-vis de la hauteur de la lettre, et l'écriture empâtée où le trait est d'une épaisseur comparable à la hauteur de la lettre ; le problème est beaucoup plus difficile dans le second cas.

Quand le trait est assez fin, il convient d'étudier les nœuds de la lettre, les points par lesquels passent plusieurs traits ; on peut étudier ce qui se passe entre deux nœuds successifs et j'ai montré dans ce cas-là qu'on peut ramener à 162 formes essentielles les jambages qui figurent entre deux nœuds.

Voici un tiré à part d'une conférence que j'ai faite l'année dernière à ce sujet, où le mot « Colloque » est analysé entièrement de cette façon.

Il faut d'abord ramener à une de ces 162 formes de jambages celui qui part d'une extrémité libre et qui va à un nœud ou qui part d'un nœud et qui va à un autre nœud ; 162 formes sans compter les dimensions. Ensuite il faut savoir à quelles lettres correspondent des successions déterminées de jambages et on peut procéder de façon assez automatique en prenant, par exemple, d'une centaine à un millier d'écritures, assez variées, en analysant les jambages et en regardant, pour chacune des lettres à déterminer, quelle est la combinaison de jambages qui intervient ; dans ces conditions la plupart des combinaisons possibles apparaîtront au moins une fois.

Nous prendrons les jambages isolés, les combinaisons de deux, trois, quatre et nous regarderons dans le catalogue tiré des écritures manuscrites si ces combinaisons de jambages correspondent à une lettre déterminée, mais nous aurons souvent plusieurs hypothèses à faire parce que nous ne savons pas combien il faut réunir de jambages les uns à la suite des autres ; donc nous aurons une espèce d'arbre, ensemble partiellement ordonné, où nous aurons plusieurs lettres possibles ; à partir de là chacune en appellera une autre, et puis des combinaisons s'élimineront petit à petit, et on peut imaginer une machine avec un programme qui sera assez compliqué, qui permettra probablement la lecture. C'est réalisable à condition qu'on puisse déterminer les nœuds des lettres. Pour cela on peut procéder avec des intersections successives comme je l'ai montré, avec les événements, les réunions et les séparations d'intervalles. On peut aussi procéder avec un spot variable suivant le tracé de la lettre comme l'ont fait

les Russes, mais ce serait plus long ; on doit pouvoir y arriver par de simples intersections verticales, et, quand cela ne réussit pas bien, en passant à l'intersection horizontale ; mais c'est un problème dont je ne m'occuperai qu'après avoir résolu complètement celui de la lecture imprimée.

M. BRESSON.

Est-ce que cela ne suppose pas que toutes les lettres soient formées entièrement ?

M. DE POSSEL.

Non, j'envisage le cas de l'O ouvert.

M. BRESSON.

Dans les manuscrits il y a des lettres à peine formées.

M. DE POSSEL.

Il faudra que cette combinaison de jambages correspondant à une lettre mal formée ait été étudiée à l'avance, que cela ait été rencontré dans les spécimens d'écritures étudiés par la machine. Il faut que la chose ait été étudiée, que dans les spécimens d'écritures la particularité se soit déjà rencontrée et que la machine ait appris à reconnaître cette configuration.

M. DETTON.

Pour automatiser le routage du courrier, n'y aurait-il pas intérêt à utiliser une écriture lisible par machine et visuellement, avec une simplicité plus grande, en faisant appel à un graphisme cunéiforme ?

M. DE POSSEL.

Dans les postes, une opératrice lit l'adresse et d'après cela inscrit un numéro. Ce numéro est généralement écrit

en caractères magnétiques qui peuvent être lus automatiquement.

M. DETTON.

Il serait peut-être préférable de faire appel directement à un alphabet dont l'examen serait simplement linéaire.

M. DE POSSEL.

On peut le faire mais je ne sais pas si les expéditeurs seront assez soigneux...

M. DETTON.

Chaque signe serait représenté par un segment vertical ou oblique qui discriminerait...

M. DE POSSEL.

C'est l'expéditeur qui devrait mettre le signe ? Mais s'il n'est pas assez soigneux, cela ne réussira pas. Il y a un autre système qu'on peut envisager : une machine à écrire spéciale que l'expéditeur doit utiliser, s'il a mis l'adresse avec cela, l'affranchissement est réduit.

M. HYPPOLITE.

Et la lecture de la sténographie ?

M. DE POSSEL.

C'est la même chose que la machine à lire l'écriture manuscrite ; la sténographie se décompose en jambages ; pour les jambages en lesquels j'ai décomposé l'écriture, j'ai pensé aux jambages sténographiques ; c'est plutôt une lecture de la sténographie que j'avais examinée, qu'une lecture de l'écriture manuscrite. Mais cela s'applique aussi à l'écriture manuscrite. Il n'y a qu'à voir les symboles plus ou moins consciemment influencés par les sténographies dans ce petit projet de lecture automatique de l'écriture manuscrite.

M. HYPPOLITE.

Si on se livrait à des rêves, à supposer que cette machine soit réalisée, il serait inutile de passer par un autre langage codé pour la machine ; toute machine pourra prendre directement les textes et les lire sans avoir besoin de les transposer. Je suppose que la machine à lire soit réalisée : elle s'ajoutera aux autres machines et elle donnera d'emblée...

M. DE POSSEL.

Elle donne un ruban magnétique sur lequel chaque caractère est codé par une suite de signes, de symboles binaires généralement.

M. RIGUET.

Une remarque annexe : la notion d'atlas historiquement due à M. de Possel joue un rôle de plus en plus considérable dans tout un secteur des mathématiques modernes appelé « l'étude des structures locales ».

On recolle des structures les unes avec les autres.

M. LE PRESIDENT.

Je remercie encore une fois M. de Possel de sa très remarquable conférence, ainsi que tous ceux qui ont bien voulu animer cette discussion.

LE CONCEPT D'INFORMATION DANS LA BIOLOGIE MOLECULAIRE

M. ANDRÉ LWOFF
Faculté des Sciences, Paris

Président : M. de GANDILLAC

M. LE PRESIDENT.

La parole est à M. Lwoff, sur le concept d'information dans la biologie moléculaire.

M. LWOFF.

Monsieur le Président, Messieurs, nous allons ce matin quitter le noble domaine des idées pour nous occuper de questions bassement matérielles, c'est-à-dire de molécules. Je vais tenter de vous transmettre le message des biologistes moléculaires et de vous dire comment ceux-ci conçoivent le problème de l'information. Pour nous, biologistes, l'information c'est ce qui détermine la vie. Ici nous allons nous trouver tout de suite aux prises avec des problèmes de définition et je vais essayer de définir aussi exactement que possible le sens des termes que j'utiliserai ; je crois que c'est absolument indispensable.

Il est très difficile de définir la vie. Certains la considèrent soit comme une propriété, soit comme une manifestation, soit encore comme un état des organismes.

Les philosophes vont immédiatement demander ce qu'est un organisme et quelles sont les propriétés des organismes vivants qui caractérisent précisément la vie.

On peut considérer un organisme comme un système spécifique capable de reproduire un système identique. Un

organisme vivant dérive toujours d'un autre organisme vivant ; les organismes sont doués de continuité génétique.

J'emploierai donc aujourd'hui le mot organisme comme synonyme d'organisme vivant.

Les organismes sont essentiellement des systèmes qui métabolisent. Lorsqu'on leur fournit de l'énergie, des aliments, ils sont le siège d'un certain nombre de réactions, ils assimilent, ils croissent et ils se multiplient ; c'est ce phénomène que nous devons étudier.

Nous pouvons donc considérer qu'un organisme est l'unité indépendante de reproduction. Une définition plus générale peut être donnée : système indépendant de structures et de fonctions interdépendantes capables de se reproduire. Cette définition permet de bien séparer l'organisme vivant des systèmes inanimés.

Un organisme est composé, comme vous le savez, de molécules. Dans un organisme, toutes les molécules doivent travailler en harmonie ; chacune des molécules doit savoir ce que les autres font ; chacune des molécules doit donc être capable de recevoir et de transmettre des messages et chacune des molécules doit être assez disciplinée pour obéir aux messages qu'elle reçoit des autres molécules. C'est ce problème des communictaions entre molécules qui constitue l'un des problèmes de la biologie moléculaire.

Il y a aussi un autre problème capital, c'est celui de la reproduction. Il est très difficile de définir une molécule ; on peut considérer que c'est la plus petite quantité de matière que l'on ne peut modifier sans modifier ses propriétés. Il est bien évident qu'une molécule ordinaire ne peut pas se diviser ; si elle se divise, vous avez deux fragments différents mais non pas deux molécules-filles identiques.

Alors que représente la reproduction moléculaire au niveau de l'organisme vivant ? Comment l'organisme a-t-il résolu le problème de la reproduction au niveau moléculaire ? C'est là un autre aspect de la biologie moléculaire que nous aurons à discuter.

Je vous ai dit que l'organisme vivant était constitué de grosses molécules. Ces grosses molécules sont essentiellement des protéines et des acides nucléiques. Bien entendu il y a des sucres, des graisses, des polysaccharides, mais nous considérons aujourd'hui les macromolécules essentielles, les acides nucléiques et les protéines. Celles-ci sont constituées d'acides aminés.

Voici l'acide acétique CH_3COOH. Si vous remplacez l'un des hydrogènes par un groupement aminé, NH_2, vous avez un acide aminé, la glycine ou glycocolle.

Il y a dans les protéines vingt acides aminés qui diffèrent par la nature de ce radical acide.

L'acide nucléique est essentiellement composé par des structures un peu compliquées, par les bases puriques et pyrimidiques.

Il y a quatre bases puriques et pyrimidiques : l'adénine, la guanine, la cytosine et la thymine. Ces quatre bases sont associées à un pentose, un sucre à cinq atomes de carbone lui-même lié à une molécule d'acide phosphorique. L'ensemble de ces molécules constitue l'acide nucléique.

Les organismes vivants ont résolu le problème de la diversité de la matière vivante avec quatre bases nucléiques et vingt acides aminés. C'est en combinant ces quatre molécules, ces quatre bases nucléiques et ces vingt acides aminés que l'organisme vivant a résolu le problème de la vie et le problème de la diversité, de la spécificité et de la reproduction ; nous devons savoir comment.

Le problème de la vie a été posé, je crois, pour la première fois d'une manière claire par Hegel en 1835 dans son *Esthétique*.

Hegel a écrit à peu près ceci : « L'arbre est une réalité vivante ; l'arbre est déterminé par le germe ; mais, lorsqu'on regarde le germe même avec l'aide du microscope, on ne voit absolument rien et il est évident que l'arbre est déterminé dans son germe par des forces d'une nature très simple. » Et en 1864 Herbert Spencer a conclu que la somme des propriétés de la matière vivante était liée à l'agencement de petites molécules extrêmement simples ; c'était une intuition remarquable pour l'époque, une vue prophétique.

Nous allons prendre un exemple concret, celui d'une bactérie. Le matériel de choix, c'est le bacille du colon, Escherichia Coli, dont nous hébergeons des milliards d'exemplaires dans notre tube digestif. C'est un petit organisme allongé qu'on peut considérer comme une sphère d'un μ de diamètre, c'est-à-dire un millième de millimètre.

Un éminent physicien qui a écrit un essai sur les bactéries a dit que la structure de la bactérie est très simple : il est évident qu'à première vue dans une particule, dans un organisme qui mesure un millième de millimètre, il ne saurait y avoir une très grande complexité ; cependant ce sont des organismes très complexes.

Il y a ici des membranes et des enveloppes dont nous ne nous occuperons pas, du cytoplasme et, à l'intérieur un très long filament, le matériel génétique, qui est l'acide désoxyribonucléique, ou A. D. N. ; il mesure à peu près deux millimètres, c'est-à-dire deux mille fois le diamètre de la bactérie.

C'est un chromosome constitué par une séquence linéaire de bases puriques et pyrimidiques ; c'est le matériel génétique.

Pour le démontrer, on peut extraire cet acide d'une bactérie, le purifier et le mettre en contact avec des bactéries ; on constate alors qu'une bactérie qui possède une propriété A peut conférer cette propriété à une bactérie différente B par l'intermédiaire de son acide nucléique. Par exemple on prend une bactérie B incapable de synthétiser un enzyme donné, on fait un extrait de A, on purifie le matériel génétique et quand on met en contact le matériel génétique de A avec la bactérie B, il pénètre dans la bactérie B et lui confère une propriété spécifique.

Le matériel génétique et le chromosome de la bactérie sont constitués par une série d'unités spécifiques, de gènes. Chaque gène possède l'information pour la synthèse d'une protéine déterminée. Nous pouvons considérer qu'une protéine est constituée par vingt acides aminés différents. Chacun est présent dans une proportion bien déterminée et caractéristique de chaque protéine. Ce qui caractérise la structure d'une protéine et son activité, c'est la séquence des acides aminés sur une chaîne unique ; chaque protéine possède une séquence déterminée d'acides aminés qui est la base de sa spécificité structurale et fonctionnelle.

Ceci, c'est la structure primaire ; ces chaînes protéiques ne restent pas à l'état linéaire, elles sont organisées d'une manière très complexe ; il y a des structures secondaires et tertiaires, mais chacune est déterminée par la séquence des acides aminés, leur ordre dans la molécule protéique. La fonction du gène c'est précisément d'ordonner les acides aminés en une séquence spécifique.

On peut considérer un gène comme constitué d'une manière schématique par, par exemple, six cents bases puriques et pyrimidiques alignées de manière linéaire.

On sait aujourd'hui que la spécificité du gène, l'information du matériel génétique, résident dans la séquence spécifique de ces bases puriques et pyrimidiques.

On sait qu'une séquence de trois bases (thymine, adénine, cytosine par exemple) sera responsable d'un acide aminé. Cette unité, c'est ce que les biologistes moléculaires appellent le codon, l'unité de code.

On sait qu'une séquence donnée, thymine, adénine, cytosine correspondra à l'acide glutamique, par exemple, une autre séquence correspondra au tryptophane, etc. ; à chaque codon, à chaque triplet de base nucléique correspond un acide aminé dans une protéine. Donc, si donc nous avons un gène

renfermant six cents bases nucléiques, il pourra organiser dans une séquence déterminée deux cents acides aminés. Le poids moléculaire moyen d'un acide aminé étant d'environ cent, nous aurons une protéine de poids moléculaire d'environ vingt mille, on peut admettre que c'est le poids moléculaire moyen d'une protéine. Le matériel génétique d'une bactérie est donc constitué par une série de gènes, chacun étant une structure spécifique déterminée, une séquence déterminée de bases puriques et pyrimidiques. C'est l'information génétique pour la synthèse des protéines, c'est-à-dire pour l'organisation des vingt acides aminés en une séquence spécifique.

Vous voyez donc que la spécificité du gène est liée à l'ordre de quatre bases puriques et pyrimidiques et que la spécificité des protéines est liée à l'ordre de vingt acides aminés.

On sait aujourd'hui exactement comment les gènes organisent les protéines. Ils ne le font pas d'une façon directe, mais par l'intermédiaire de messagers. Pour nous, le mot message ou messager a un sens très spécifique et très matériel. On sait que la molécule d'acides désoxyribonucléiques va produire une molécule complémentaire d'acides ribonucléiques. Un gène déterminé produira donc une structure complémentaire, un acide ribonucléique. Cet acide va se fixer sur des particules cytoplasmiques appelées ribosomes.

Cette structure va être responsable de l'organisation des acides aminés en une séquence spécifique. Donc le matériel génétique, le gène, ne forme pas directement la protéine, mais d'abord un messager ribonucléique et c'est ce messager « complémentaire » qui va organiser les acides aminés en une protéine spécifique. A une séquence donnée de codons dans le matériel génétique, correspond donc une séquence donnée d'aminoacides dans la protéine.

Nous savons donc que le matériel génétique renferme une information, une structure, une séquence, et que dans une bactérie il y a environ deux mille gènes, chacun correspondant à un enzyme spécifique. Une bactérie renferme deux mille espèces d'enzymes différents dont chacun peut être présent en quantité variable ; certains enzymes sont représentés par dix molécules, d'autres par six mille...

Nous devons nous demander maintenant comment fonctionne la machine vivante. En effet l'organisme vivant ce n'est pas seulement une séquence, une somme de structures, c'est aussi une série de fonctions et la notion de vie est inséparable de la notion de fonctionnement et de reproduction.

Depuis quelques années on sait exactement comment l'organisme vivant fonctionne et comment les différentes molé-

cules communiquent les unes avec les autres, comment elles fonctionnent en harmonie.

Nous pouvons prendre un exemple concret : une série de gènes sera responsable de la synthèse d'une protéine déterminée, d'un acide aminé déterminé, par exemple le tryptophane. Par conséquent, chaque gène de structure va produire un messager qui va aller se fixer sur un ribosome et le système messager-ribosome va produire un enzyme spécifique. Un enzyme c'est une molécule protéique qui catalyse une réaction ; chaque enzyme est responsable d'une action bien déterminée, par exemple un enzyme va méthyler, fixer un CH_3 sur une molécule, un autre un NH_2, etc.

La biosynthèse des matériaux de construction des protéines est liée au fonctionnement d'une série d'enzymes spécifiques. Il est bien évident que les différentes molécules dans un organisme vivant doivent fonctionner de manière parfaitement harmonieuse et équilibrée.

Il y a toujours concurrence entre les différents organismes et ceux qui ont le plus de chances de survivre sont les mieux réglés et ceux qui ne font pas de travail inutile.

Comment donc sont réglées les synthèses ?

Tout d'abord la bactérie reçoit de l'énergie ; elle brûlera du sucre duquel elle tirera son énergie ; et puis elle reçoit des aliments et avec ces aliments elle va fabriquer les quatre bases nucléiques qui constituent l'acide nucléique et les vingt acides aminés constituant les protéines, mais elle doit les fabriquer en quantité juste nécessaire aux besoins de l'organisme.

L'organisme a résolu le problème des communications moléculaires d'une manière extrêmement simple.

Soit une chaîne d'enzymes avec des enzymes 1, 2, 3, 4, 5, 6 et le produit final du dernier enzyme, c'est le tryptophane, l'un des acides aminés constituant des protéines.

Il y a ainsi des chaînes d'enzymes qui synthétisent chacun des vingt acides aminés et il est évident que ces acides aminés doivent être synthétisés en quantité strictement proportionnelle aux besoins. S'il y a trop de tryptophane produit, il y aura un excès et ce sera un travail inutile.

L'organisme vivant a résolu le problème de la régulation de la manière suivante : le premier enzyme, 1, possède deux sites spécifiques ; l'un produit la réaction enzymatique, proprement dite, qui peut être par exemple la fixation d'un groupement CH_3, et l'autre dit le site allostérique (phénomène découvert par Jean-Pierre Changeu) possède des propriétés très particulières : le produit de l'activité de la chaîne d'enzymes vient se fixer spécifiquement sur ce site, et lorsque ce

site a reçu ce produit, son activité enzymatique cesse. Donc, dès qu'une chaîne d'enzymes a produit une substance en excès, l'activité du premier enzyme est bloquée et le travail de toute la chaîne se trouve arrêté.

Il y a là un mécanisme très sensible réglant l'activité des différentes chaînes enzymatiques de telle sorte que chaque substance est fabriquée exactement en quantité nécessaire ; dès qu'il y a un excès, l'activité correspondante des enzymes s'arrête.

Mais il y a aussi un autre système beaucoup plus subtil et c'est le système de répression.

Lorsqu'il y a production d'une substance en excès, non seulement cette substance inhibe l'activité du premier enzyme de la chaîne mais également, par un mécanisme compliqué, l'expression des gènes correspondants. Un répresseur est une molécule organique spécifique, qui vient se fixer sur le gène et l'empêche de s'exprimer. Il bloque l'activité du gène. Et, lorsque l'activité du premier gène est inhibée, l'activité de tous les autres gènes intervenant dans une chaîne spécifique de synthèse est bloquée. Il y a donc un double mécanisme de régulation, régulation de l'activité des enzymes et régulation de la synthèse des enzymes.

C'est grâce à ce double mécanisme de régulation que l'organisme vivant fabrique ses matériaux de construction en quantité strictement correspondante à ses besoins.

L'organisme vivant non seulement reproduit un organisme identique à lui-même, mais est aussi capable de variation. Si nous ensemençons notre bactérie dans un milieu qui renferme du glucose, un sucre quelconque comme aliment carboné, cette bactérie assimile le glucose mais ne contient pas d'enzyme pour l'utilisation d'un autre sucre, le lactose.

Si nous ensemençons la bactérie dans un milieu contenant du lactose, au bout de vingt minutes elle va fabriquer un nouvel enzyme, une β galactosidase, capable de métaboliser le lactose.

Donc l'équipement enzymatique d'une bactérie n'est pas chose fixe, il dépend non seulement de la constitution génétique qui détermine ce qui est possible mais aussi de la nature du milieu. Sous l'influence de certaines substances du milieu, il y a modification de l'équipement enzymatique de la bactérie.

Nous savons aujourd'hui que ce phénomène est lié à ce qu'on appelait autrefois l'adaptation enzymatique et qu'on appelle aujourd'hui de manière plus précise et plus scientifique la *biosynthèse induite* des enzymes.

Il y a dans notre bactérie un gène spécifique pour la syn-

thèse d'un enzyme capable d'attaquer le lactose, mais ce gène ne s'exprime pas dans un milieu au glucose ; il ne s'exprime que lorsque du lactose a pénétré dans la bactérie et qu'elle a formé un inducteur spécifique qui va envoyer le signal « marche » à un gène de structure qui est normalement bloqué. Lorsqu'il reçoit un stimulus spécifique, il s'exprime, il fonctionne et fabrique l'enzyme spécifique.

Si le milieu est dépourvu de lactose, l'enzyme devient inutile et la bactérie cesse de fabriquer l'enzyme.

Grâce à cet ensemble de mécanismes, les bactéries fabriquent exclusivement ce dont elles ont besoin pour survivre.

Donc, ce que nous appelons l'information, c'est la séquence spécifique des acides nucléiques dans le matériel génétique et c'est aussi cet extraordinaire système qui règle les fonctions, l'activité et les synthèses.

Je vous ai dit que les molécules ne se divisaient pas. Je vous ai dit aussi que l'information génétique pour la production des enzymes était liée à une structure spécifique, à une série de gènes spécifiques constituée par une séquence de bases puriques et pyrimidiques réparties dans un ordre donné.

Comment l'organisme vivant a-t-il résolu le problème de la reproduction au niveau moléculaire ?

Il l'a résolu d'une manière très simple, par une structure complémentaire dont nous devons la connaissance à James Watson et Francis Crick.

La molécule de matériel génétique est en réalité une double molécule constituée par deux chaînes complémentaires.

Si on a ici une molécule de guanine, une d'adénine, une de cytosine, il y aura dans la chaîne complémentaire une molécule de cytosine, une molécule de thymine, une molécule de guanine, etc. ; à une base purique déterminée, pour des raisons de structure moléculaire, correspond une autre base purique, à une base pyrimidique une autre base pyrimidique.

La molécule d'acide nucléique est constituée par deux parties complémentaires, c'est-à-dire que si l'on sépare ces deux molécules la molécule A va reproduire la molécule B et la molécule B va reproduire la molécule A. La reproduction, au niveau moléculaire, chez les organismes vivants, c'est la séparation de deux chaînes complémentaires ; et c'est ainsi que se reproduit le matériel génétique ; c'est dans l'organisme vivant la seule molécule qui se reproduit et qui soit capable de se reproduire.

Le fondement de l'ordre biologique c'est donc une séquence déterminée, une séquence dans l'espace. C'est aussi une séquence dans le temps.

Le matériel génétique, l'acide désoxyribonucléique, c'est la structure qui permet à l'organisme de synthétiser ses protéines spécifiques, ses matériaux de construction, et de reproduire un organisme identique à lui-même. C'est donc le matériel génétique qui assure la perpétuation et la stabilité de l'organisme ; ceci, si l'on considère le matériel génétique à l'échelon du temps biologique, c'est-à-dire dans un espace d'heures ou de minutes ; mais on doit aussi considérer l'organisme à l'échelon du temps cosmique et considérer l'évolution.

Là, on aboutit à une conclusion assez curieuse ; c'est que le matériel génétique non seulement assure la perpétuation des structures et leur continuité mais aussi la variation, la mutation et l'évolution.

On sait aujourd'hui qu'une mutation c'est un changement dans la séquence des bases puriques et pyrimidiques. Une séquence donnée A G C (adénine, guanine, cytosine) par exemple, sera le codon pour la synthèse de la glycine. Si la guanine est remplacée par la thymine, le codon original sera remplacé par le codon A T C (adénine, thymine, cytosine). La glycine sera remplacée par un autre acide aminé. L'on sait que les mutations dites ponctuelles sont essentiellement le remplacement d'une base par une autre, un changement des séquences spécifiques dans le matériel génétique. Ces mutations ont pour conséquence le remplacement dans une séquence protéique d'un acide aminé par un autre entraînant un changement de spécificité de fonction.

C'est le matériel génétique, l'acide désoxyribonucléique, qui renferme les séquences spécifiques nécessaires pour la perpétuation de l'espèce et qui représente en même temps le matériel qui assure l'évolution, les mutations, et qui permet à l'organisme de « s'adapter » suivant le milieu : dans tel milieu, tel ou tel mutant sera favorisé, sera sélectionné.

Donc, l'ordre biologique est double, c'est un ordre à la fois structurel et fonctionnel. Il est impossible de séparer ces deux aspects complémentaires de l'être vivant : structures et fonctions. De même que les particules et les ondes sont deux aspects complémentaires de l'atome, les structures et les fonctions sont les aspects complémentaires de l'organisme vivant.

La machine vivante fonctionne grâce à un système très précis et très bien réglé de rétroactions (feed-back), et cet ensemble de mécanismes de rétroaction assure l'économie du métabolisme.

Donc, l'être vivant, c'est un ordre spécifique et certains biologistes ont essayé d'appliquer la notion de négentropie, que l'on devrait maintenant, après ce que nous a dit M. Couffignal, appeler entaxie, à l'organisme vivant. On peut calculer

la probabilité pour qu'une séquence donnée d'acides nucléiques soit réalisée en mélangeant ces bases au hasard. Mais je crois que ce calcul n'a aucun sens ; il n'a pas plus de sens que si l'on mesurait la négentropie d'une tragédie de Racine. Si on calcule cette négentropie en termes d'entaxie, on aboutit à une notion qui ne renferme pas du tout ce qui est important pour nous dans une tragédie de Racine, qui n'est pas une succession de mots, mais bien autre chose. En réalité, l'aspect fonctionnel de l'organisme vivant ne doit pas être négligé, le calcul de la négentropie en utilisant les formules de Shannon ne s'applique absolument pas à l'être vivant.

Ce qu'on peut appeler information pour un être vivant, c'est donc une série de structures, de séquences, un ordre bien déterminé. C'est cet ordre qui représente l'information biologique. Le concept d'information correspond à cet ensemble de données assez complexes ; et vous voyez que, pour le biologiste, le mot information, le mot message, c'est quelque chose de très matériel, totalement dépourvu de poésie ; c'est une séquence de petites molécules et l'ensemble des fonctions qu'elles accomplissent.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Je remercie M. Lwoff de cet exposé magistral.

Ce colloque touche à la philosophie qui nous passionne, mais beaucoup de matières sont traitées qui dépassent la pure philosophie ; les philosophes sont trop souvent incompétents et le rôle du président est surtout d'écouter, de s'informer lui-même. Je dois vous dire cependant l'extraordinaire intérêt que j'ai pris à ce que j'ai entendu de l'exposé de M. Lwoff.

Nous allons ouvrir la discussion.

M. WIENER.

J'ai été très intéressé par les détails de la conversion des fonctionnements en structures et des structures en fonctionnements. J'ai discuté une méthode mathématique dans les machines pour cette conversion réciproque ; les détails sont très différents, mais je crois que la différence n'est pas aussi absolue qu'on pourrait le croire.

Il y a deux détails ici qui doivent être étudiés : le dynamisme de la conversion de l'information statique en information dans le temps, c'est-à-dire la théorie qui vient d'être présentée et qui est plutôt structurelle que dynamique ; il y a quelques processus dans le temps, processus intermédiaires entre la séparation des deux chaînes et la réunion, la recréation. Cela doit être étudié.

M. LWOFF.

Les processus dynamiques ont été étudiés avec beaucoup de précision.

On peut extraire et purifier une séquence de nucléotides. On peut également synthétiser un acide nucléique et le repro-

duire *in vitro* à l'aide des matériaux de construction et d'un enzyme spécifique.

Vous pouvez également, si vous prenez cette chaîne d'acide nucléique et si vous ajoutez des ribosomes et de l'acide ribonucléique transporteur, synthétiser *in vitro* une protéine spécifique. Il y a pour toutes ces réactions un enzyme spécifique, qui va organiser les acides aminés le long de la chaîne nucléique pour la synthèse d'une protéine, et un autre enzyme qui va organiser des bases puriques ou pyrimidiques en une chaîne spécifique pour donner un acide nucléique ; à partir d'une chaîne « cytosine » on formera une chaîne complémentaire formée uniquement de guanine, ce qui démontre la justesse de la conception de Watson-Crick sur la complémentarité.

M. WIENER.

Pour avoir la variation, on doit développer une théorie des perturbations et même des perturbations aléatoires. Cette théorie doit donc rester sur la base d'une théorie aléatoire. A-t-on fait des progrès dans le développement d'une telle théorie ?

M. LWOFF.

Je ne sais pas si l'on a fait des progrès dans le développement de la théorie mais l'on sait que dans un acide nucléique donné il y a pour une base donnée quelconque une certaine probabilité de changer dans l'intervalle de deux générations.

D'autre part on peut augmenter beaucoup la fréquence de mutation par des agents mutagènes comme les rayons ultra-violets, les rayons X, l'acide nitreux. Tous les agents mutagènes sont en même temps cancérigènes.

Il existe une probabilité donnée pour remplacer une base par une autre et créer une mutation.

M. WIENER.

Ce doit être une dynamique des perturbations. La théorie purement mathématique des données de la reproduction des

machines contient très fortement cet élément aléatoire et je suis convaincu qu'il n'est pas exclu non plus dans la théorie que vous avez formulée.

M. LWOFF.

Je ne suis pas mathématicien, je ne suis pas capable de comprendre les théories mathématiques. Je crois en effet qu'il y a quelque chose d'assez aléatoire dans la reproduction d'une machine, étant donné qu'on n'a jamais vu une machine se reproduire alors qu'au contraire un organisme vivant se reproduit identiquement à lui-même avec une probabilité 1.

M. WIENER.

Ce qui signifie qu'il n'y a point de variations.

M. LWOFF.

C'est une probabilité statistique ; l'organisme se reproduit conformément au type avec une probabilité 1 tempérée d'une certaine variation qui peut être de 10^{-6}, 10^{-5}.

M. WIENER.

L'existence des variations démontre que la probabilité n'est pas 1.

M. LWOFF.

Elle est très voisine de 1.

M. WIENER.

Oui ; dans la machine aussi.

M. LWOFF.

Elle est infinie par rapport à la reproduction d'une machine.

M. WIENER.

Mais la probabilité pour une grande variation est à peu près de 0. Il y a une similitude ; je n'admets pas que l'opposition des deux opérations soit aussi absolue qu'on pourrait le croire.

M. LWOFF.

Il est difficile de concevoir comment une machine peut se reproduire au niveau moléculaire ; le problème de la reproduction d'une machine est le suivant : si l'on considère la machine dans ses éléments structuraux essentiels, fondamentaux, c'est une question de reproduction de molécules. Or vous ne pouvez pas reproduire une molécule de fer ; dans l'organisme vous pouvez reproduire des molécules, séparer deux molécules complémentaires et vous aurez la spécificité à condition qu'elle réside dans une séquence.

M. WIENER.

Je suis d'accord mais une machine de dimension moléculaire est quand même une machine.

M. LWOFF.

Oui, comme l'être vivant.

M. WIENER.

J'ai bien conscience que les détails de la reproduction sont très différents, mais on a quand même une machine et le même ordre d'idées peut s'appliquer aux machines de dimensions moléculaires ; je crois quand même qu'on doit considérer les deux théories ensemble en retenant toujours cette distinction d'échelles.

M. WHITFIELD.

La matière génétique subit un remplacement continu comme les autres molécules, mais je pense que cette reproduction tient aux structures d'une molécule pendant la vie. C'est un problème de bruit.

M. WIENER.

C'est précisément le problème dont j'ai parlé.

M. WHITFIELD.

Dans une molécule avec peu d'information, c'est bien, mais dans une molécule bien structurée je pense que cette structure continue pendant de nombreuses années.

M. LWOFF.

C'est-à-dire que vous pensez qu'il est impossible que le matériel génétique d'un organisme reste constant, vous pensez que tous les organismes doivent nécessairement évoluer.

Considérons un organisme spécifique libre ; il vit dans un milieu, dans l'eau par exemple. Il y trouvera une source d'énergie, un sucre quelconque, et puis de l'ammoniaque pour construire ses acides aminés et ses protéines. Cet organisme va donc synthétiser l'ensemble de tous ces matériaux de construction ; s'il devient parasite il va trouver dans son hôte l'ensemble des matériaux de construction préformés qui sont synthétisés par son hôte.

Il n'aura donc plus besoin de synthétiser ses matériaux et les organismes favorisés sont ceux qui ne fabriqueront plus ces matériaux de construction parce que cela leur est inutile. Lorsque l'on étudie les parasites, on s'aperçoit que beaucoup ne synthétisent plus les matériaux de construction qu'ils trouvent préformés dans leur hôte parce qu'ils n'ont plus besoin de réaliser cette synthèse et certains même ont perdu d'une manière définitive le pouvoir de les synthétiser.

Il convient donc de considérer l'organisme et sa structure génétique par rapport au milieu dans lequel vit l'organisme.

Si l'organisme est envisagé durant un temps assez long, bien sûr, il y aura des variations.

M. WHITFIELD.

Le bruit et le mécanisme de l'évolution dans les combinaisons...

M. LWOFF.

Je ne comprends pas exactement le sens du mot bruit ; je ne vois pas comment l'appliquer.

M. CHANGEU.

Je pense que vous entendez par là la variabilité aléatoire du stock génétique ; il y a eu un différend entre M. Wiener et M. Lwoff. Il y a une question d'échelle de temps : pour M. Lwoff, quand on observe un homme qui se reproduit, on observe un homme identique à lui-même, une bactérie aussi à l'échelon de quelques générations ; mais, regardant cela à l'échelon du temps géologique, tous les êtres vivants évoluent et même les bactéries évoluent. Il y a donc une variabilité liée à la vie.

M. LWOFF.

Bien sûr.

M. CHANGEU.

Et quand M. Wiener disait que dans les machines il y avait une probabilité aléatoire, cela m'apporte beaucoup de satisfactions ; c'est la théorie de la mutation-sélection ; la mutation se fait essentiellement au hasard. On peut remplacer une base par une autre, mais quelle base changera ? On sait seulement que si elle change elle se changera en une autre ; il y a une marge dans la variabilité. Le mécanisme qui interviendra ultérieurement est celui de la sélection et c'est là que le milieu intervient pour choisir ce qui, dans cet aléatoire, est le plus apte pour l'organisme.

M. LWOFF.

Dans un milieu constant certaines variations seront éliminées alors qu'ailleurs elles seront sélectionnées.

M. WIENER.

Il me semble qu'une difficulté principale est la question de savoir si les variations sont purement aléatoires ou s'il se trouve un élément organisé même dans l'occurrence des variations. Il ne me semble pas que les deux possibilités soient absolument exclusives l'une de l'autre. C'est-à-dire que, même s'il y a un élément aléatoire dans les variations, il y a une sélection naturelle de la possibilité et des directions des variations. L'aptitude d'un être vivant à s'adapter au changement du milieu ambiant est essentielle pour que son existence continue. D'avoir en réserve la possibilité de variations dans les directions choisies à l'égard de la nature de l'organisme, même à son écologie, est un fait essentiel et adaptatif. Cela veut dire qu'il est très probable que la variabilité de l'organisme soit elle-même quelque chose qui évolue, qui restreint la direction et la probabilité des changements aléatoires. Je suis sûr qu'il faut chercher mathématiquement les possibilités des variations aléatoires restreintes et conditionnelles. Pour le moment, je ne puis donner une théorie développée dans cette direction, mais c'est un thème pour les recherches de l'avenir.

M. GRENIEWSKI.

Une petite observation : l'exposé de M. Lwoff était très clair. On en peut considérer le texte écrit ; on peut le donner à un homme qui ne comprend rien à la biologie, mais qui est bon mathématicien ; il va faire l'analyse formelle de ce texte ; puis il nous dira : M. Lwoff a fait un bon exposé d'un groupe de transformations.

Le mathématicien pourra caractériser ce groupe de transformations à l'aide d'un système d'axiomes assez simples, je crois. Car tout ce que nous avons entendu ici est très simple formellement et c'est grâce à cela que les biochimistes ont bien travaillé. C'était « mystique » il y a quelques années, mais maintenant c'est très clair, vous connaissez le mécanisme ; alors le mathématicien peut, sans avoir aucun trait de génie, former les axiomes de ce groupe ou de ce corps de transformations ; il pourra faire cette analyse.

Et puis on peut poser une autre question : quand ce groupe de transformations sera caractérisé déjà du point de vue formel, y aura-t-il des réalisations matérielles de ce groupe de transformations ? Il en existe une, dans le domaine chimique, que M. Lwoff a tellement bien exposé, mais on peut se demander s'il n'y a pas d'autre domaine de la matière, de la même structure et du même fonctionnement ; l'essentiel, c'est cela : est-ce que ce groupe de transformations est réalisé dans la nature *dans ce seul domaine chimique* ou bien y a-t-il d'autres réalisations ?

M. WIENER.

Je suis du même avis. Il n'y a pas une opposition entre les deux points de vue, mais je suis convaincu qu'en quelques années on trouvera le moyen de combiner les deux points de vue et l'on trouvera là-dedans quelque chose d'identique. A mon avis la différence n'est pas une différence vraiment scientifique ; c'est que Monsieur est chimiste et que moi je suis mathématicien.

M. DE POSSEL.

Les machines que nous construisons actuellement sont des machines encore extrêmement grossières par rapport à ce qu'on peut imaginer qu'elles seront dans un certain nombre d'années. Les éléments de ces machines sont, à l'échelle moléculaire, des édifices absolument énormes, et dont la dimension a tendance à se réduire ; et elle se réduit uniquement du point de vue fonctionnel ; si l'on considère la fonction que doit remplir l'organe, on s'aperçoit qu'il est beaucoup trop gros pour cette fonction. On diminue les dimensions de plus en plus et il est à prévoir que l'on tombera sur une échelle qui se rapprochera beaucoup plus des dimensions moléculaires ; un élément de mémoire sera probablement dans quelques années une grosse molécule susceptible de deux états d'équilibre.

Alors nous nous retrouverons devant des machines qui feront se poser la question de la comparaison avec un organisme de manière beaucoup plus judicieuse ; actuellement l'état des machines est trop grossier pour que la comparaison avec un organisme ait véritablement un sens, mais cette comparaison deviendra certainement intéressante par la suite.

M. LWOFF.

Les machines se rapprocheraient de plus en plus des organismes vivants ?

M. DE POSSEL.

Ce n'est pas certain, ce sera peut-être un type d'organisme assez différent.

M. LWOFF.

Je le crains.

M. DE POSSEL.

Nous aurons plusieurs possibilités de réalisation ; considérant des machines qui seraient susceptibles de se reproduire, dont on fait une étude théorique depuis Von Neuman, cette étude ne pourra avoir d'applications pratiques que lorsque les dimensions des organes des machines seront beaucoup plus petites (je ne dis pas les dimensions des machines elles-mêmes) car, lorsque les dimensions des organes diminuent, leur nombre augmente et le volume total de la machine reste à peu près du même ordre. Lorsque le nombre des organes sera très grand, nous pourrons parler de la reproduction des machines, mais actuellement nous sommes encore très loin des machines qui peuvent se reproduire.

M. LWOFF.

Le problème de la reproduction à l'échelon moléculaire est très difficile à résoudre si l'on n'adopte pas la solution trouvée par l'organisme vivant, la spécificité résidant dans une séquence de l'unité spécifique et la complémentarité. On ne peut pas reproduire une molécule sinon en séparant deux chaînes complémentaires.

M. DE POSSEL.

Il y a une question qu'on pose quelquefois : peut-on imaginer des organismes qui fonctionneraient d'après des principes analogues, mais à des échelles toutes différentes, par exemple dans un milieu où régnerait une pression considérable comme à l'intérieur des étoiles ?

M. LWOFF.

Oui, on peut faire l'expérience ; et si vous augmentez la pression, vous supprimez l'organisme ; vous pouvez imaginer des organismes qui ont été sélectionnés et qui peuvent vivre à des pressions déterminées ; mais, avec les organismes actuels, ce n'est pas possible.

M. DE POSSEL.

Je ne parle pas de l'adaptation des organismes actuels ; je parle de la possibilité de l'existence d'organismes *très différents* qui pourraient vivre dans des conditions très différentes.

M. LWOFF.

Vous pouvez tout concevoir, mais ce qui est remarquable c'est que beaucoup de théoriciens ont spéculé sur la vie et sur la reproduction et que finalement toutes les constructions théoriques n'ont abouti à rien ; c'est seulement l'analyse des phénomènes au niveau moléculaire qui a conduit à cette constatation, à cette solution très simple mais que personne n'avait prévue.

M. VERMEERSCH.

Vous ne parlez que de reproduction au niveau moléculaire mais ne peut-on pas parler d'un organisme se reproduisant beaucoup plus haut qu'au niveau moléculaire ?

M. LWOFF.

Quand une bactérie croît et se divise en donnant deux bactéries, c'est la reproduction de l'organisme, mais le problème que nous nous posons c'est de savoir comment l'organisme croît et se reproduit.

C'est une constatation de fait, un organisme croît et se divise ; le problème pour nous c'est de savoir ce que représente la multiplication au niveau moléculaire. Un organisme ne peut se diviser que s'il y a en lui deux systèmes génétiques identiques ; le problème de la reproduction c'est le problème de la *duplication* du matériel génétique, de la duplication de l'information.

M. VERMEERSCH.

Il n'est pas nécessaire que le matériel soit seulement des molécules.

M. LWOFF.

Si, tout organisme est nécessairement composé de molécules.

M. VERMEERSCH.

Oui, mais une machine peut être composée, disons, de blocs de 5 cm sur 5 cm et on peut se poser la question parce que, quand on parle d'organisme, il s'agit de structure et on peut se demander si la même structure peut se reproduire à chaque échelon, sans se demander si ce sont des molécules ou des atomes.

M. LWOFF.

Naturellement c'est la structure qui se reproduit.

M. VERMEERSCH.

La structure, ce sont les relations entre les éléments.

M. LWOFF.

La structure est un ordre donné, oui, c'est une séquence donnée, mais cela n'empêche pas qu'un ordre donné de molécules, c'est une molécule.

M. LE PRESIDENT.

Je ne vois pas où est le problème.

M. LWOFF.

Moi non plus.

M. VERMEERSCH.

Quand on parle de reproduction il s'agit de reproduction d'une structure ; structure cela ne veut rien dire que relation entre éléments, et vous dites que ces éléments sont des mo-

lécules ; ce n'est pas nécessaire. On peut avoir de plus grands éléments et, si on a les mêmes relations entre les éléments, il y a reproduction.

M. LWOFF.

Une base purique, c'est une molécule, deux bases puriques liées, c'est une autre molécule, et un million de bases puriques c'est une macromolécule. Au mot *molécule*, vous pouvez donner le sens que vous voulez ; à partir du moment où vous avez une structure unique, telle que si vous la coupez en deux vous avez deux molécules différentes, le tout est une molécule. Une séquence linéaire ne peut pas être coupée en deux, mais vous pouvez la reproduire en produisant une structure complémentaire, une séquence complémentaire.

M. MOLES.

Au sujet de l'hypothèse suggérée par M. Wiener (*) d'une radiation en faisant remarquer que le problème des N corps ne peut jamais être séparé du problème des radiations, M. Lwoff répondait : « Je ne vois pas très bien comment l'on pourrait tester cette hypothèse » ; il me semble qu'il y a, au moins à l'échelle moléculaire, une méthode pour se rendre compte si cette hypothèse est intéressante (je ne dis pas si l'on peut la tester) : nous savons que chaque atome possède un champ de radiations dans les atmosphères électroniques, qu'il existe toute une échelle de travaux, de Daudel en particulier, sur les champs plus ou moins quantifiés dans le domaine moléculaire, et nous savons à peu près faire la théorie de ces champs dans les molécules simples. On sait trouver à quelle distance ils modifient notablement l'univers environnant. Or M. Wiener parlait de radiations à très courte distance ; il est bien connu que les molécules et les atomes ou même les fragments moléculaires qui constituent une grosse molécule vibrent, s'agitent selon un certain nombre de règles et que, par conséquent, selon les bonnes lois de l'électromagnétique, ils rayonnent ; on peut donc estimer à partir de quelle distance ce champ devient approximativement négligeable, ce qui permet, en fonction des distances moyennes d'attraction, d'avoir une vague idée sur la sphère d'influence, c'est-à-dire qu'on sait si cela vaut la peine de poursuivre cette hypothèse ou non.

(*) Au cours d'une séance de travail en groupe restreint, consacrée au problème de la *duplication des machines*.

M. FRANK.

Je pense que la différence est la suivante : M. Vermeersch utilise le mot organisme dans un sens plus large que vous ; vous parlez seulement des organismes biologiques et vous avez dit que les organismes biologiques se reproduisent selon les procédés moléculaires, mais M. Vermeersch pense que les organismes peuvent être des machines, et qu'il n'est pas nécessaire qu'ils se reproduisent au niveau moléculaire.

M. LWOFF.

J'ai dit que je n'avais en vue que les organismes vivants. Je ne voulais pas parler des machines. On parle souvent de *matière vivante*, mais il n'y a pas de matière vivante ; une molécule organique extraite d'un organisme n'est pas vivante ; seuls les organismes sont vivants ; les organismes sont des *systèmes* de structures et de fonctions capables de se reproduire. Une molécule extraite de l'organisme n'est pas vivante.

M. VERMEERSCH.

On peut prendre cette définition qu'un organisme est un système qui se reproduit. Mais si on me met par exemple dans une tour d'ivoire, je ne me reproduirai jamais (*rires*).

M. LWOFF.

C'est une discussion tout à fait classique sur la vie : ce problème a été très souvent agité : est-ce qu'un chien castré est vivant ou non ? On peut discuter à perte de vue... La vie n'a pas de sens si vous considérez l'organisme ; il n'y a d'être vivant que parce qu'il se reproduit. Si vous mettez l'être vivant dans l'incapacité de se reproduire le mot vie n'a plus aucun sens.

M. ROSENBLITH.

Il y a eu deux malentendus, je crois ; le premier ayant trait à ce que nous appelons « reproduction ». Vous vous êtes attaqué directement au niveau de la reproduction d'êtres vivants, des organismes tels que nous les connaissons à l'heure

actuelle. Par contre, vous n'avez nullement entamé le problème de la reproduction d'un livre où la structure du papier et celle de l'encre ne nous regardent pas aussi longtemps qu'on reproduit un livre. Il se peut que lorsqu'on aura des machines composées de grandes molécules on puisse reproduire ces structures.

M. LWOFF.

La reproduction du livre est intéressante parce que vous reproduisez des structures complémentaires.

M. ROSENBLITH.

D'autre part vous avez parlé de la spécificité de l'information dans les organismes et dit que l'information de Shannon ne nous donne rien. Je crois que tous ceux qui ont regardé cela de près sont à peu près d'accord. Mais il n'est nullement prohibé de penser qu'on puisse formuler d'une autre façon, à la fois mathématique et significative, l'information, que ce soit la spécificité au point de vue moléculaire ou au point de vue de l'organisme.

Seulement nous n'avons pas encore trouvé le modèle mathématique approprié à cette énumération et c'est là la chose sur laquelle il faut insister. Vous ne dites pas que l'information ne regarde pas l'être vivant, mais vous dites que les mesures d'information données jusqu'à présent par les mathématiciens ne sont pas adéquates à la mesure de la spécificité des organismes.

M. LWOFF.

Si l'on mesure l'être vivant en fonction de son ordre, de la négentropie, on aboutit à un chiffre dépourvu de signification parce qu'il ne tient pas compte de la fonction ; c'est pourquoi Linschitz aux Etats-Unis et Brillouin en France ont proposé d'introduire une notion de négentropie biologique qui n'a plus rien à voir avec l'entropie des physiciens.

M. FESSARD.

Il n'est pas dépourvu d'intérêt, tout de même, de se représenter la complexité d'un système par exemple par le

nombre des complexions possibles, même si on ne peut attacher de probabilité à chaque complexion. Je me suis posé une question quand vous avez parlé de triplets qui déterminaient la spécifité enzymatique, de quatre bases qui se combinent 3 à 3 ; cela ne fait jamais que dix-huit combinaisons.

M. LWOFF.

Soixante-quatre.

M. FESSARD.

Comment cela peut-il rendre compte des centaines de catégories d'enzymes ?

M. LWOFF.

Vous avez des milliers de catégories d'enzymes, mais tous sont constitués par vingt acides aminés ; chacun des acides aminés est déterminé par un triplet.

M. FESSARD.

D'accord.

M. LWOFF.

Il existe une variété infinie d'acides aminés et de combinaisons d'acides aminés, ce qui constitue la spécificité des protéines.

M. FESSARD.

Alors il ne faut pas répudier tout calcul numérique, par exemple l'analyse combinatoire.

M. LWOFF.

Non, mais je reste au niveau bassement matériel des molécules et des faits ; je n'ai pas fait de calcul, n'étant pas

mathématicien, mais les mathématiciens peuvent se livrer à tous les calculs qu'ils désirent faire.

M. FESSARD.

Il y en a qui sont vains, il y en a qui ne le sont pas ; vous en avez certainement fait vous-même. J'aimerais avoir l'opinion de M. MacKay là-dessus. Lui a justement étudié ces questions, non pas pour des problèmes moléculaires, mais pour d'autres problèmes ; il a distingué l'information métrique de l'information structurale. Il y a quand même des notions qu'il ne faut pas répudier.

M. LWOFF.

Je ne les répudie pas, je n'en ai pas parlé, mais c'est par ignorance.

M. MACKAY.

Je suis d'accord avec M. Fessard. Il sera nécessaire de poser d'autres questions que celles à laquelle la théorie de Shannon veut répondre. Il me semble qu'au niveau auquel vous l'avez décrit, le problème pourra être mathématisé en partant des combinaisons ; c'est la mathématique des combinaisons, non la mathématique stochastique, qui devrait pouvoir répondre à vos questions.

Je voudrais vous demander si vous avez des questions relatives aux organismes vivants auxquelles vous désirez des réponses de cette sorte. L'analyse de la structure, c'est ce que vous faites comme biochimiste ; et les mesures de dimensionalité (*logon contents*) sont les mesures que déjà vous employez sans en prononcer le nom.

M. LWOFF.

L'organisme vivant n'a pas de problèmes ; dans la nature il n'y a pas de problèmes, il n'y a que des solutions ; cela a été dit depuis longtemps. Le problème est de savoir comment l'organisme vivant se reproduit ; est-ce en faisant une théorie mathématique de la reproduction et en l'appliquant au gouvernement de ses molécules, ou est-ce simplement en prenant des molécules et en les organisant suivant un ordre déterminé ? Vous posez des problèmes que l'organisme ne se pose certainement pas.

M. MACKAY.

En ce cas, il me semble que le niveau auquel la théorie de Shannon pourra peut-être être utile à l'avenir sera le niveau auquel nous posons les questions de stabilité, parce que je crois que le concept le plus important dans la théorie de Shannon sera pour vous le concept de redondance. En parlant de redondance il faut considérer, comme l'a dit M. Wiener, la dynamique du système et se demander s'il est possible que la multiplicité des molécules identiques combatte les dérangements produits par le bruit. C'est une question de *long range order*.

M. LWOFF.

Je crois que ce problème est très difficile ; pour le moment nous ne pouvons pas le résoudre, mais, ce que nous savons d'une manière générale, c'est qu'il n'y a qu'une information génétique donnée pour une protéine donnée. Dans une cellule un gène déterminé, une séquence donnée de nucléotides correspond à un enzyme déterminé. Mais il faut dire que les différents organismes ont résolu le problème de la spécificité de l'activité enzymatique d'une manière tout à fait différente.

Voici un exemple schématique et concret :

Considérons la structure primaire d'une protéine, une série d'acides aminés organisés d'une manière donnée. Cette protéine est un enzyme. La partie active de cet enzyme, responsable de la réaction chimique, de la transformation d'une substance A en une substance B, est liée à un petit groupe d'acides aminés, disons par exemple acide glutamique, acide aspartique. Dans un organisme donné, toutes les molécules d'enzymes qui catalysent cette réaction possèdent cette structure.

Mais il y a des mutations qui peuvent modifier la séquence des acides aminés dans certaines parties de la molécule, ou bien sans changer son activité, ou bien en la diminuant ou en l'augmentant légèrement.

Si vous considérez un même enzyme responsable d'une

réaction déterminée, hydrolysant un sucre spécifique, par exemple, la béta-galactosidase, et si vous l'étudiez dans une bactérie, une levure, un mammifère, vous constatez que le site actif est le même mais que le reste de la chaîne est différent. Donc l'activité spécifique d'un enzyme peut être résolue par l'organisme vivant de façon différente.

M. MACKAY.

J'ai pensé à un analogue qui serait peut-être utile pour éclairer la discussion : on peut considérer la reproduction d'un livre à plusieurs niveaux : il y a la machine pour presser les lettres sur le papier, mais ce n'est pas la dernière étape ; après il y a les corrections des épreuves ; il faut lire l'impression et corriger. Il me semble que vous, vous considérez l'étape de la presse et que nous, dans les théories de l'information, nous considérons les corrections correspondant aux théories stochastiques.

M. LWOFF.

Dans l'être vivant il n'y a pas de comparateur, pas de machine qui puisse dire que c'est bien ou mal ; dans une machine grâce au comparateur, lorsqu'on donne une information, si la solution est mauvaise, elle est rejetée ; dans l'organisme vivant le comparateur c'est le *struggle for life*, la sélection ; toute expérience mauvaise est éliminée par la sélection naturelle ; si l'expérience est favorable dans un milieu donné elle sera conservée.

M. MACKAY.

Est-il impossible qu'au niveau moléculaire il y ait un feed-back qui serve de correction, de *proof-reader* (lecteur d'épreuves) ?

M. LWOFF.

Soit un gène et un enzyme. Il y aura deux types de rétroactions, la suppression de l'activité de l'enzyme et de l'activité du gène. Cependant un gène déterminé ne peut faire qu'une protéine déterminée ; si elle est mauvaise, l'organisme

sera éliminé s'il est placé dans des conditions défavorables ; mais il n'y a pas de moyen pour l'enzyme, de modifier la structure du gène ; et l'enzyme lui-même ne peut pas modifier sa propre structure.

M. CHANGEU.

Le *proof-reader* stabiliserait les organismes, supprimerait les mécanismes évolutifs.

M. LWOFF.

Ce que vous appelez erreur, c'est le changement ; vous avez en vue une séquence déterminée dans un texte ; mais, pour l'organisme vivant, modification n'est pas nécessairement synonyme d'erreur.

M. WIENER.

Il me semble que le travail de correction commence beaucoup plus tôt que la sélection des individus. Les variations se produisent avant que les individus formés soient soumis à une sélection.

M. LWOFF.

Vous avez parfaitement raison : dans un organisme avec deux mille gènes, il suffit qu'un gène subisse une mutation, et une protéine sera incapable d'accomplir une fonction essentielle : l'organisme meurt et ne se reproduit pas ; il n'y a plus de sélection.

M. WIENER.

La sélection commence très tôt alors.

M. LWOFF.

Cela dépend du type. Tout ce qui empêche la reproduction est sélectionné très tôt de manière complètement négative ; nous ne pouvons parler de sélection.

M. WIENER.

Mais c'est une correction dans le sens de l'imprimerie.

M. LWOFF.

Une correction où est supprimé tout ce qui est mortel.

M. LE PRESIDENT.

Malheureusement nous sommes obligés d'interrompre cette discussion très significative de certaines oppositions d'esprit en lesquelles le philosophe se sent lui-même profondément divisé parce qu'il y a des tendances dans un sens et dans l'autre.

THEORIE INFORMATIONNELLE DE LA PERCEPTION

M. Abraham MOLES
Université de Strasbourg
Président : M. de GANDILLAC

M. LE PRESIDENT.

La séance est reprise. La parole est à M. Moles sur la théorie informationnelle de la perception.

M. MOLES.

« C'est une vérité élémentaire que vie, fortune et bonheur de chacun de nous dépendent de notre connaissance des règles d'un jeu infiniment plus difficile et compliqué que les échecs : l'échiquier est le Monde, les pièces sont les phénomènes de l'Univers, les règles du jeu sont ce que nous appelons les Lois de la Nature. L'adversaire est caché à notre vue : nous savons qu'il joue bien, ne triche jamais, est d'une patience inépuisable. Mais nous savons aussi à nos dépens qu'il ne pardonne jamais une erreur et n'admet aucune excuse à l'ignorance. »

T.-H. Huxley.

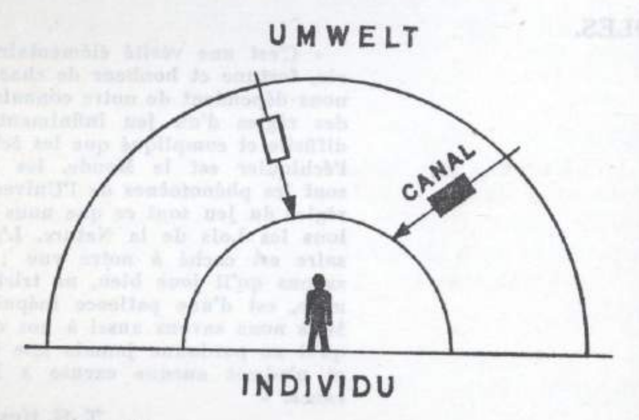
La théorie de l'Information se présente désormais comme une « grande théorie », au sens épistémologique de forme des rapports de l'homme et du monde qui l'entoure. Elle se situe donc au niveau de ces quelques théories unitaires dont le rôle est d'intégrer les doctrines partielles que propose la quotidienneté scientifique et qui constituent le but

ultime de l'explication scientifique : théorie du Champ, théorie de la Relativité, théorie des Quanta, principes généraux de la Thermodynamique, Théorie Atomique. Comme celles-ci, elle vise à ramener notre compréhension des apparences de l'univers physique à un très faible nombre d'entités, mais à la différence de celles-ci, elle est centrée sur l'existence même d'un *observateur* possédant un certain nombre de propriétés spécifiquement humaines, par contraste avec l'observateur abstrait qui sert, par exemple, de nœud de raisonnement à la théorie relativiste.

La théorie de l'Information est née dans un cadre étroit et technique, celui du rendement de messages télégraphiques, mais elle avait déjà eu des précurseurs qui, comme Szilard s'étaient rendu compte de la généralité du point de vue que nous offrait le problème de la dégradation d'un ordre intentionnel créé par l'individu sous l'influence de l'agitation irrépressible du monde physique.

La théorie informationnelle de la Perception naît de la considération, familière aux philosophes comme aux théoriciens des communications, d'une *situation* particulière, celle d'un individu placé dans un environnement. (Fig. 1.) Elle

Fig. 1 :



utilise systématiquement ce point de départ en examinant un cas particulier préalable, celui où l'être que nous appellerons « *Récepteur* », voit son environnement réduit au cas extrêmement simple d'un *autre* individu qui lui communique des messages, linguistiques par exemple.

Elle élargit ensuite cet environnement très particulier à un système plus général : le monde naturel qui environne l'individu un, duquel elle admet que celui-ci reçoit des messages conformément à une image proposée il y a déjà longtemps par T. H. Huxley et développée par les spécialistes de la théorie des jeux qui admettent qu'il est légitime de considérer l'homme — et plus particulièrement le savant derrière l'homme (quand il est là !) — comme en *lutte stratégique avec la nature,* et recevant d'elle des messages analogues aux annonces successives d'une partie de poker. C'est donc cette situation qui nous servira de base dans l'application de la théorie de l'information à la perception.

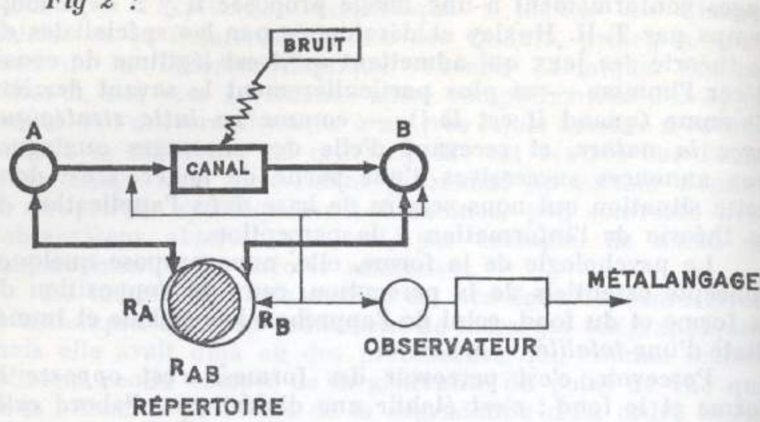
La psychologie de la forme, elle, nous propose quelques concepts essentiels de la perception, ceux de l'opposition de la forme et du fond, celui de l'appréhension globale et immédiate d'une *totalité,* « Gestalt ».

Percevoir, c'est percevoir des formes, c'est *opposer* la forme et le fond ; c'est établir une dialectique, d'abord celle entre la figure et le fond, ensuite celle entre le « connaissable » qui n'est jamais que le « reconnaissable » et « l'aléatoire » qui n'est rien d'autre que l'essence de l'inconnaissable. Nous définirons précisément une forme comme ce qui apparaît aux yeux de l'observateur comme *n'étant pas* le résultat du hasard. Cette définition a un caractère négatif et suppose, conformément aux remarques de Borel, que l'idée de hasard est un donné à priori de notre esprit.

La théorie de l'Information est, dans son essence, une théorie structuraliste : elle prétend décomposer le portrait de l'univers en morceaux de connaissance, être capable d'en dresser répertoire, puis de recomposer un *modèle,* simulacre de cet univers, en appliquant certaines règles d'assemblage ou d'interdiction dont l'ensemble constitue précisément la *structure.* Une théorie informationnelle de la perception sera donc la synthèse d'une attitude structuraliste et d'une attitude dialectique et c'est peut-être en cela qu'elle apporte quelque chose aux philosophes.

Rappelons tout d'abord la situation fondamentale que propose la théorie de l'Information : un émetteur A « communique » par l'intermédiaire d'un canal physique, c'est-à-dire par une matérialité observable, avec un récepteur B. (Fig. 2.) A envoie à B des « messages », modifications physiques du monde extérieur qui peuvent être enregistrées et décelées par l'observateur scientifique S *extérieur* à la communication elle-même, et qui explique le résultat de ses observations dans un *métalangage* sans aucune relation nécessaire ni avec A ni avec B. Exemple : A et B sont deux sauterelles sur un arbre, deux canaques sur un rocher ou deux individus se transmettant une feuille de papier à travers les siècles.

Fig 2 :



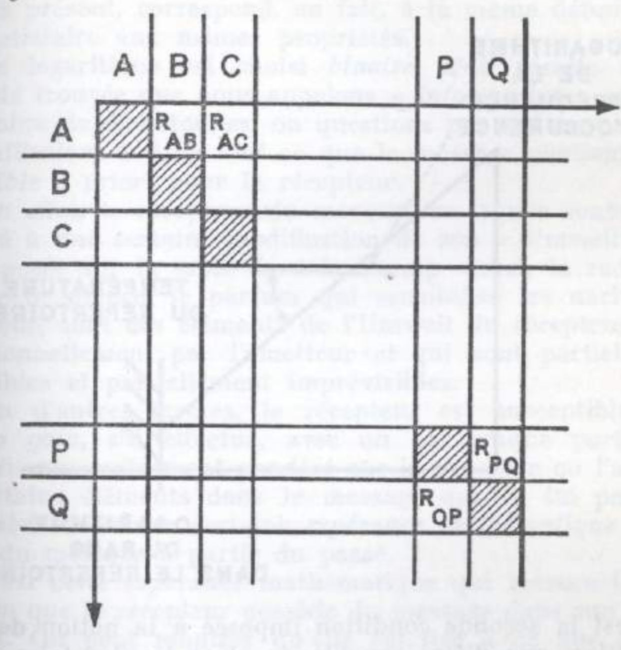
Le canal physique peut donc être n'importe quel système de correspondance à travers l'espace-temps, c'est-à-dire la mise en correspondance univoque entre un univers spatio-temporel A (x, y, z, t) (l'émetteur), et un univers spatio-temporel A' (x', y', z', t') (le récepteur). Cette définition, très générale, inclut les concepts d'*anamorphose* ou de *transformation* entre espace émetteur et espace récepteur qui peuvent différer par une ou plusieurs des coordonnées x, y, z, t.

On appellera *message* l'objet physique de cette correspondance qui sera le plus souvent un transfert effectif de quelque chose (le support du message) du point A au point B (une lettre, un courant d'air, une quantité de mouvement), mais peut aussi bien correspondre à une modification du milieu B en fonction du milieu A ayant le caractère d'une propagation. Exemple : ondes sonores, ondes électro-magnétiques, vibration d'une branche d'arbre, titillation olfactive, contact de deux épidermes.

Mais tout transfert d'un point A à un point B n'est pas forcément un message de communication entre l'être présent au point B et l'être présent au point A. Il est nécessaire, pour cela, que les individus A et B aient, préalablement à l'acte de communication, mis en commun un certain nombre de conventions que nous appellerons *répertoire* de signes. L'acte de communication consiste alors pour l'individu B à se reporter au répertoire de ce qu'il appelle signes. En bref, l'individu A envoie à l'individu B un message constitué d'une séquence d'éléments appelés *signes*, qu'il puise dans un répertoire antérieurement fixé. Le concept même de communication implique donc celui de *convention* qui est essentiellement humain et n'est directement réductible à aucun des

exemples que nous offrent les sciences physiques traditionnelles. Il implique la notion de *couple* entre émetteur et récepteur et celle de séparabilité du message en une suite d'éléments isolables. Dans un groupe social d'individus A, B, C, D... on établira un tableau matriciel des répertoires R_{AB}, R_{PQ}, qui comportera généralement une partie commune : $R_{PQ} = R_o + R'_{PQ}$. (Fig. 3.)

Fig. 3 :

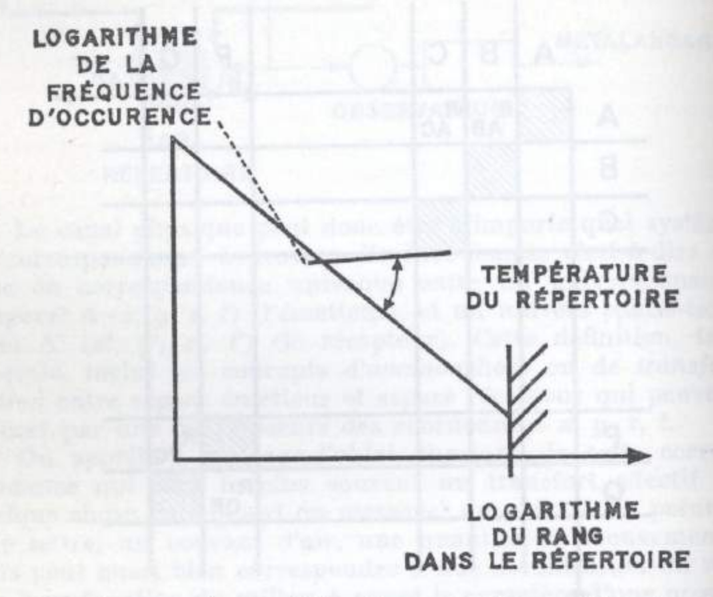


Par contre, la théorie des communications se refuse à faire une distinction, qu'elle juge inutile, entre les différents aspects physiques de ces canaux qui joignent l'émetteur et le récepteur pour autant qu'ils obéissent aux mêmes propriétés formelles — elle s'intéresse donc dans son principe à ce qu'il y a de commun entre les différents canaux indépendamment de leur constitution physique qui est l'affaire du biologiste ou du mécanicien. Organismes, hommes ou machines lui paraîtront identiques dans la mesure où les messages qu'elle décèlera auront des éléments obéissant aux mêmes lois. C'est l'observateur qui en décidera, c'est lui qui verra quelque chose de commun entre les hommes qui parlent, ceux qui écrivent ou ceux qui télégraphient.

L'observateur va se connecter en un point quelconque du canal. Il va répertorier l'ensemble des éléments distincts

qu'il peut séparer dans le flux des messages : il va ensuite déterminer la fréquence d'occurrence de chacun de ceux-ci et finalement constituer un dictionnaire, différent du répertoire en ce qu'il est *ordonné*, par exemple, par rang du plus fréquent au moins fréquent des signes qui le constituent. (Fig. 4.)

Fig. 4 :



C'est la seconde condition imposée à la notion de communication que d'être capable de *clore* le répertoire ou en tous les cas, de le disposer d'une façon *convergente*, c'est-à-dire de façon telle que les éléments soient d'autant moins importants qu'il faut plus de temps à l'observateur pour y accéder. C'est d'ailleurs sur ce point que la théorie des communications pose le plus de difficultés théoriques.

Quand ce répertoire de signes discrets est constitué, l'observateur peut, à l'aide de formules empruntées à la théorie des complexions, calculer une grandeur relative à tout message particulier de N signes extraits d'un répertoire comportant n espèces de signes différents et qu'il appellera indifféremment « complexité » du message ou « information ». Cette expression :

$$H = N \sum_{i=1}^{n} P_i \log_2 P_i$$

est l'expression mathématique du logarithme de l'imprévisiblité d'occurrence de chacun des signes déterminés à partir du répertoire qu'il a préalablement dressé et qui est supposé commun au récepteur et à l'émetteur.

L'information est donc prise, au sens de Wiener, Shannon, comme une quantité d'imprévisibilité d'un assemblage d'éléments. Nous admettrons que le terme de complexité d'un message qui n'avait pas dans la littérature de sens précis jusqu'à présent, correspond, en fait, à la même définition et doit satisfaire aux mêmes propriétés.

Ce logarithme est choisi *binaire*, d'où résulte que la quantité trouvée que nous appelons « *information* » exprime le nombre de dichotomies, ou questions par oui ou par non, qui suffiraient à fixer *tout* ce que le message contient d'*imprévisible* à priori pour le récepteur.

En effet, le récepteur du message se trouve soumis par celui-ci à une certaine modification de son « Umwelt » ; la lettre posée sur la table dans le champ visuel, la radio qui meuble le silence, le parfum qui sensibilise les narines de l'amateur, sont des éléments de l'Umwelt du récepteur créés intentionnellement par l'émetteur et qui sont partiellement prévisibles et partiellement imprévisibles.

En d'autres termes, le récepteur est susceptible d'un certain *gain,* s'il effectue, avec un quelconque partenaire, un pari convenablement pondéré sur la présence ou l'absence de certains éléments dans le message qui va lui parvenir. Il possède donc une certaine *espérance mathématique* sur le futur du message à partir du passé.

C'est cette espérance mathématique qui mesure l'appréhension que le récepteur possède du message dans son déroulement. On peut montrer qu'elle est liée à ce que la T. I. appelle « *redondance* », c'est-à-dire l'excès de signes réellement transmis par rapport à ceux qui seraient strictement nécessaires pour convoyer la même quantité d'originalité, *si* tous ces signes avaient été choisis équiprobables. En d'autres termes, cette redondance qui est une grandeur aussi importante que l'information pour les messages aux individus percevant, exprime statistiquement l'influence de l'ensemble des contraintes qui restreignent le choix de la séquence de signes.

Nous appellerons « *code* » de la communication, tout ce que le récepteur sait à priori sur le message en dehors de la simple énonciation du répertoire. Le code des contraintes détermine statistiquement la complexité des formes qui sont proposées au récepteur et il est légitime d'admettre qu'il s'identifie avec elles. En bref, la T. I. mesure la com-

plexité des formes comme étant l'imprévisibilité de celles-ci. Elle permet d'ordonner en quelque façon les formes par cette grandeur complémentaire de l'information qu'est la redondance. Ainsi, la forme la plus simple que l'on puisse imaginer semble être la *périodicité* dans le temps ou dans l'espace qui est prévisibilité illimitée de l'avenir du message en fonction de son passé, quelle que soit la nature du signe ou groupe de signes « stimuli », et cette remarque peut servir de base à une étude des formes temporelles.

Au niveau, très restreint, où nous nous sommes placés, d'échange de signes parfaitement définis, parfaitement isolables, de fréquences d'occurrence connues entre l'émetteur et le récepteur, on peut donc admettre que la T. I. rend compte de la notion de *forme* par cet aspect de redondance ou d'excès de signes qui composent un message.

En effet, si les signes étaient tous parfaitement indépendants, utilisés de façon également probable en d'autres termes, si l'information était maximum, les messages ne sauraient différer de ce que pourrait être un bruit aléatoire pur dans l'attente du récepteur. Il n'y a pas de différence entre un bruit et un message *totalement* informatif, dans la mesure où aucune intention n'est susceptible d'y apparaître (ignorance du code). Un exemple type est le message le plus difficile à transmettre dans un appareil de télévision ou dans un canal sonore : c'est le message purement aléatoire, constitué de signes individuels n'ayant aucune liaison les uns avec les autres, et l'on remarquera que si ce message devait être chargé d'une signification quelconque, ce serait à partir de circonstances définies, qui justement lui confèrent un minimum de prévisibilité, par exemple l'existence d'un cadre devant un écran de télévison. S'il n'y avait pas de cadre, le message le plus difficile à transmettre, constitué de points noirs, gris ou blancs, choisis absolument au hasard, se dissoudrait dans un *fond* qui, *par définition*, aurait la même structure, et le terme de bruit de fond, coïnciderait ici avec le terme de *background*. La forme n'existe que dans une lutte dialectique avec le fond et cette lutte ne s'établit que dans la mesure où un écart avec le hasard peut être décelé par le récepteur, l'observateur extérieur au canal ne pouvant intervenir dans ce conflit. On peut dire encore que l'autocorrélation du signal est donc nulle quel que soit l'intervalle d'auto-corrélation choisi (spectre nul), ou bien encore que les probabilités de transition ou probabilités polygrammatiques sont toutes nulles.

En résumé, si nous cherchons à étudier un phénomène quelconque sous l'angle informationnel, il convient de par-

courir cinq étapes qui concordent avec ce qu'on peut appeler une méthode *structuraliste*.

1° L'observateur définira une situation entre émetteur et récepteur et définira par là même un canal et un niveau d'observation : il ne s'intéressera *provisoirement* qu'à celui-ci, ce qui requiert un effort de méthode très appréciable.

2° L'observateur recherchera la nature des signes qui sont échangés entre émetteur et récepteur : les *atomes* de la structure qu'il étudie. Il *énoncera* ce répertoire sous une forme accessible et c'est là que l'observation du comportement prendra sa place.

3° Il déterminera, à propos de chacun de ces signes, les probabilités d'occurrence dans une étude statistique. Il pourra à ce moment en déduire la quantité d'information ou la complexité des messages transmis.

4° Il complètera cette détermination par celle de la redondance des messages qui sont ainsi échangés, cette redondance fournissant ainsi une *mesure des formes* transmises. S'il suppose connue la capacité d'appréhension du récepteur, il pourra appeler cette mesure l'*intelligibilité* du message considérée comme synonyme de l'aptitude du récepteur à y discerner des formes, c'est-à-dire à prévoir le déroulement de la réception du message.

5° L'observateur cherchera à énoncer l'ensemble des lois d'assemblage qui sont connues à priori de l'émetteur et du récepteur et qui *contraignent* la combinatoire des éléments-signes. C'est ce qu'on appellera le *code* en Théorie de l'Information et que la théorie structuraliste appelle, au sens propre, *structure*, car c'est avec ces lois qu'elle sera susceptible de reconstruire un modèle des messages au niveau de l'observateur choisi au départ.

Enfin au bout de cette étude, le modèle obtenu, même s'il est logiquement satisfaisant, peut ne rendre compte que d'*un* aspect ou d'un niveau très particulier de l'acte de communication : ainsi la connaissance de l'information sur les lettres dans un texte français ne recouvre visiblement pas la totalité de ce qu'un psychologue appellera *communication* linguistique. L'observateur reprendra alors son analyse, mais, cette fois-ci, à un autre niveau d'observation ; il définira d'autres éléments, recherchera de nouveaux répertoires et de nouveaux codes et il recommencera ainsi cette analyse jusqu'à avoir *épuisé* le phénomène de communication qui lui est proposé ou, si l'on veut, jusqu'à ce que les modèles qu'il construits par superposition de ces différents niveaux, satisfassent le psychologue behavioriste ou le sociologue.

Ce qui émerge de cette analyse, concentrée à un niveau

bien défini, c'est donc la liaison établie par le concept de redondance, ou d'excès du nombre de signes, entre perception — qui est toujours perception des formes — et *originalité* du message. Un message à redondance nulle, strictement informatif, faisant l'économie maximum du nombre de signes, est un message *amorphe*, totalement dépourvu de forme, au sens de la « Gestalt », et, par là même, totalement inintelligible pour un récepteur humain. Comprendre c'est percevoir, et percevoir c'est appréhender des formes, c'est *exploiter l'excès du nombre de signes* pour pouvoir se permettre de n'explorer le message que par un échantillonnage : les points de fixation dans la lecture d'un texte en sont un bon exemple.

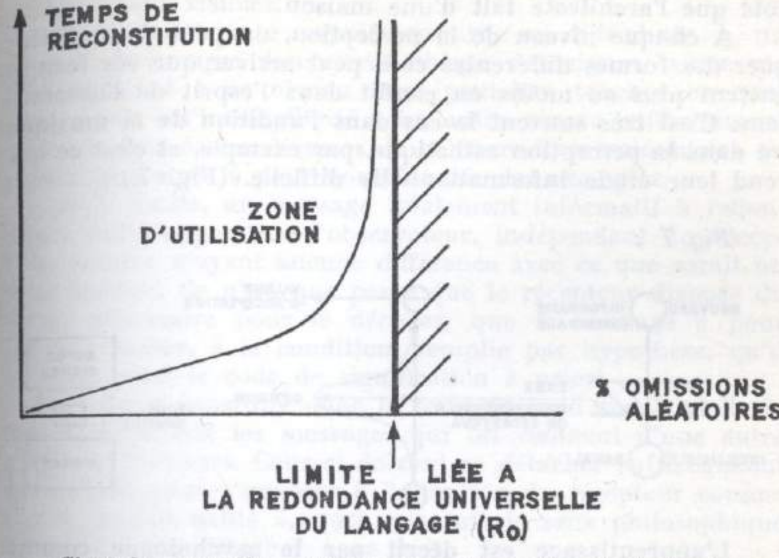
Il apparaît alors qu'il soit légitime de mesurer la *prégnance* des formes par le taux de redondance. On devient par là susceptible de classer les formes plus ou moins appréhensibles dans un délai donné, la notion même de forme prend un sens métrique. Il est facile, pour des messages à caractère exclusivement sémantique et dont le répertoire est parfaitement défini et situé à un seul niveau d'observation, de classer les messages et de mesurer leur intelligibilité qui varie parallèlement à leur forme.

L'indice de « fermeture » de Taylor (close index) offre un bon exemple de cette mesure de l'intelligibilité par la redondance que nous avons eu l'occasion d'expérimenter. Il apporte par son principe d'omission aléatoire d'un certain pourcentage de signes dans des messages-tests, sur lesquels on recherche la durée de reconstitution, une méthode générale d'étude des formes valable en esthétique expérimentale, dans la théorie des mass media pour les messages musicaux ou sonores, pour les messages cinématographiques, etc. Il donne des résultats cohérents toutes les fois que le niveau d'observation, c'est-à-dire la grosseur des atomes de structure contenus dans le répertoire, est bien déterminé. (Fig. 5 : variations du temps de reconstitution avec la redondance.)

En effet, comme le montrent les étapes d'une recherche informationnelle que nous venons de décrire, il convient toujours de reprendre une analyse de niveaux après avoir achevé l'étude à un niveau donné. C'est l'un des principaux obstacles auxquels se heurte la T. I. dans la pratique, que le récepteur humain, étant susceptible d'appréhender des répertoires très variés, puisse, en cours de réception, changer fréquemment de niveau, donc de répertoire, pour rechercher presque spontanément le *niveau de redondance optimum* dans une situation donnée ; ce niveau de redondance n'est pas forcément le niveau le plus élevé, celui le plus intelligible, ce qui condamne une application trop hâtive d'un principe

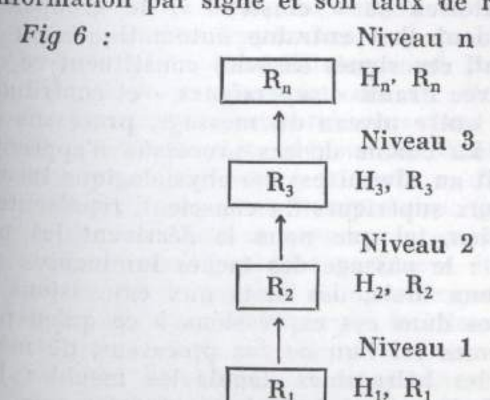
du moindre effort à ce problème. En fait, il y a là une sorte d'*accommodation informationnelle*, comme le fait remarquer Frank.

Fig. 5 :



C'est la première extension rationnelle de la T. I. que de considérer successivement plusieurs niveaux d'appréhension, donnant lieu à des messages superposés, tous en principe différents les uns des autres, chaque niveau ayant ses signes propres, son code, son répertoire, et donc son taux d'information par signe et son taux de redondance. (Fig. 6.)

Fig 6 :

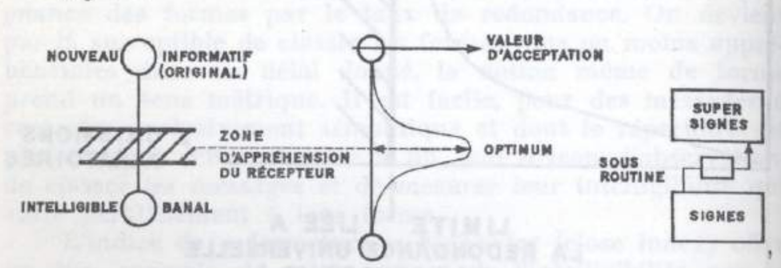


L'architecture informationnelle des différents niveaux de réception

L'ensemble de ces mesures, $H_1, H_2, H_3, ...$
et parallèlement : $R_1, R_2, R_3, ...$
constitue un véritable *schéma métrique informationnel* du message global proposé que l'on pourrait comparer au plan coté que l'architecte fait d'une maison.

A chaque niveau de la perception, on peut donc distinguer des formes différentes et il peut arriver que ces formes entrent plus ou moins en conflit dans l'esprit de l'observateur. C'est très souvent le cas dans l'audition de la musique ou dans la perception esthétique, par exemple, et c'est ce qui rend leur étude informationnelle difficile. (Fig. 7.)

Fig 7 :



L'apprentissage est décrit par le psychologue comme l'appréhension d'un certain nombre de formes plus ou moins élaborées, plus ou moins fréquentes. Il sera décrit par le théoricien de l'information comme le développement de probabilité d'associations dans les répertoires du récepteur aux différents niveaux, associations qui conduisent à la construction dans ces répertoires de « clusters », de groupes de signes stéréotypés, dont l'un entraîne automatiquement les autres. A ce moment, ces signes associés constituent ce que nous avons appelé avec Frank « *supersignes* » et contribuent à l'élaboration d'un autre niveau du message, processus qui peut se renouveler. La chaîne de ces processus d'apprentissage élémentaire, soit au niveau psycho-physiologique inconscient, soit aux niveaux supérieurs du conscient, représente le processus d'intégration, tel que nous le décrivent les psychologues. Exemple : le passage des taches lumineuses aux lettres, des lettres aux mots, des mots aux expressions ou fragments de phrases dans ces expressions à ce qu'on peut appeler les sémantèmes est l'un de ces processus, de même qu'en architecture, les hiérarchies depuis les meubles jusqu'aux pièces, depuis les pièces jusqu'aux appartements, des appartements jusqu'aux étages et des étages aux immeubles sans qu'il soit nécessaire de s'arrêter là. Ainsi le taux d'information n'est qu'une mesure de la façon plus ou moins originale dont les atomes de sensation apparaissent groupés au sujet récepteur. Plus cette façon est imprévisible, plus il faut de temps pour l'appréhender, moins les formes qu'elle contient sont visibles.

Toute contrainte supplémentaire, ou introduite à un niveau quelconque dans l'assemblage des signes, augmente l'intelligibilité à ce niveau sans peut-être toucher en quoi que ce soit à l'intelligibilité à un autre niveau suffisamment différent. Les écoles diverses de peinture impressionnistes ou pointillistes sont là pour nous fournir des exemples.

A la limite, un message totalement informatif à redondance nulle apparaît à l'observateur, indépendant du récepteur, comme n'ayant aucune différence avec ce que serait un bruit parfait. Ce n'est que parce que le récepteur dispose du temps nécessaire pour le décoder, que le message a pour lui une valeur, à la condition, remplie par hypothèse, qu'il possède aussi le code de signification à priori.

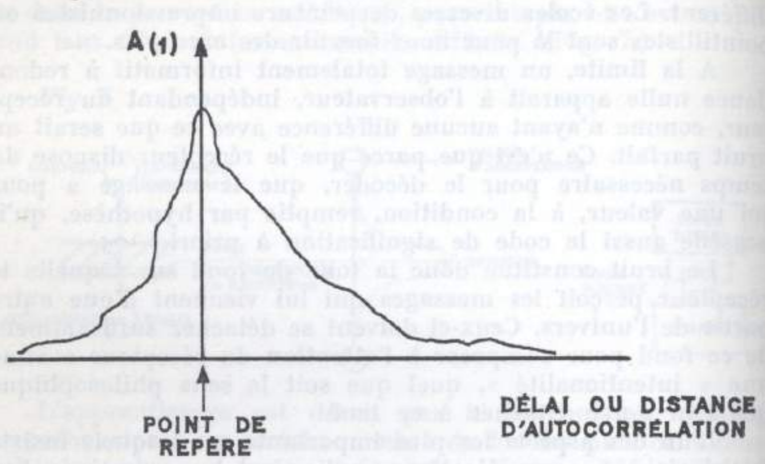
Le bruit constitue donc la toile de fond sur laquelle le récepteur perçoit les messages qui lui viennent d'une autre partie de l'univers. Ceux-ci doivent se détacher suffisamment de ce fond pour s'imposer à l'attention du récepteur comme une « intentionalité », quel que soit le sens philosophique que l'on doive attacher à ce mot.

L'un des aspects les plus importants sur lesquels insiste la théorie des communications appliquée à la perception, c'est celui, déjà mis en évidence par la psychologie de la Gestalt, de la *résistance au bruit* d'une forme perçue, liée à la prégnance de cette forme. La forme se détache sur le fond avec une certaine force, un certain contraste, d'autant plus grand en première approximation, que la forme est moins complexe et que le fond (Hintergrund, background noise) est plus uni. Dans la perception des structures de phénomènes dans le cadre spatio-temporel, ce « fond » est l'ensemble de l'agitation désordonnée (dépourvue d'intérêt) de la nature par rapport au message « attendu » c'est-à-dire ayant des probabilités élevées dans le répertoire. Quand une forme est trop faible, elle vient se noyer progressivement dans le fond. La forme est un signal et à ce titre a été étudiée précédemment, le message apparaît comme l'expression de l'ordre intentionnel, imposé par le couple émetteur-récepteur, par rapport au désordre de la nature et nous avons vu plus haut que cet ordre intentionnel n'est discernable par l'observateur ignorant du code (décrypteur), que dans la mesure où il y a *redondance* dans ce message, c'est-à-dire forme, donc possibilité d'effectuer des statistiques.

La notion de prévisibilité des signes successifs par rapport aux signes déjà existants est bien exprimée sur le plan statistique par le concept de spectre d'auto-corrélation des images dont la figure 8 donne un exemple.

Cette noyade (Ueberschwemmung) de la forme dans le fond, soumis à cette agitation aléatoire, nommée bruit, pose en termes précis le problème de la perceptibilité des formes

Fig 8 :



de l'univers. Supposons que le message ait un constraste suffisamment faible par rapport au fond, à partir de quel instant l'observateur serait-il capable de le déceler ? C'est la reprise ici, sous une forme précise, d'expériences fondamentales de la théorie de la forme.

La théorie de l'information, en considérant ce modèle de communications, émetteur-canal-récepteur et le concept de filtre de formes, c'est-à-dire d'*attente*, de *presetting* des répertoires du récepteur, donne une interprétation des relations entre ce degré de prévisibilité du message et la sensibilité du récepteur. En bref, elle distingue deux aspects du message, son *contraste* ou sa détectabilité d'une part, sa *forme* ou sa prévisibilité d'autre part. Exemple : la plus simple des formes de tous les messages est la *périodicité* d'un signal quelconque, possédant une certaine amplitude par rapport aux bruits de fond.

La T. I. posera alors une sorte de *principe d'incertitude de la perception,* déclarant qu'en quelque façon, le *produit du contraste par la prévisibilité de la forme qu'on est susceptible de recevoir est constant.*

Par exemple, le produit du rapport signal-bruit de fond par le degré de périodicité ou grandeur d'auto-corrélation du signal, est constant. Ceci revient à poser un dilemme très fondamental : dans tout problème de communication ou de perception, plus la forme est simple, c'est-à-dire redondante ou prévisible, mieux nous sommes capables de la détecter, plus notre sensibilité est grande.

En d'autres termes, tout « percepteur » qui part dans le monde à la recherche de formes ou de signaux, arrivera *d'autant mieux* à les trouver qu'il saura mieux ce qu'il attend : l'exemple de l'observation astronomique est convaincant à cet égard. Ce dilemme constitue un véritable principe d'incertitude de la connaissance dans le monde, *valable à tous les niveaux* du message et qui, à l'échelle microscopique, coïncide avec le célèbre principe d'incertitude d'Heisenberg (Gabor).

Il n'y a qu'un moyen d'échapper à ce dilemme, c'est le cas où le récepteur est susceptible de prodiguer une *infinité de temps* et une *infinité de moyens* dans l'opération de réception d'un message qui, lui-même durant indéfiniment, possède une redondance aussi faible que l'on veut (une trace de forme aussi vague que l'on puisse l'imaginer). Disposant d'une infinité de moyens, le récepteur pourra se permettre de réaliser le presetting d'un catalogue de formes aussi étendu qu'il est capable de l'imaginer, par exemple : il préparera des filtres accordés sur toutes les périodicités imaginables du signal. Disposant d'un délai illimité, il pourra se livrer à des statistiques aussi détaillées que l'on veut sur le signal. Mais ceci n'infirme pas le principe précédent, car prodiguer une infinité de temps et une infinité de moyens pour déceler un phénomène, implique en soi une limitation à la connaissance que peut acquérir le récepteur de l'émetteur ou de la nature et se présente comme une *définition informative du déterminisme.*

En effet, si nous devons consacrer un temps d'observation de plus en plus long pour détecter un phénomène de plus en plus noyé dans l'agitation irrelevante du champ d'observation (canal), encore faut-il que ce phénomène subsiste identique à lui-même, pendant un délai excédant au moins ce temps d'observation. Une liaison s'établit alors entre fréquence du phénomène et durée de celui-ci, qui est une limitation à ce que le philosophe appellerait le jeu des causes et des effets.

Ainsi la théorie informative de la perception se généralise-t-elle à toute observation scientifique de la nature, et propose-t-elle des principes d'incertitude généralisés, fondés

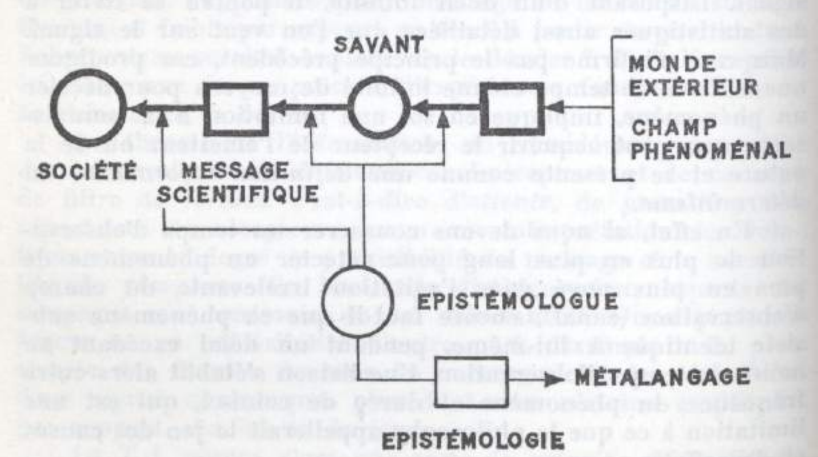
sur le concept même de la forme et totalement indépendants de l'échelle des phénomènes : en d'autres termes, il y a un principe d'incertitude à chaque niveau d'observation, à chaque type de répertoire et notre architecture du signal est toujours un peu labile.

Extension épistémologique de la Théorie Informationnelle de la Perception

> « De par sa nature, l'entendement humain est incliné à supposer l'existence dans le monde de plus d'ordre et de régularité qu'il n'en trouve. »
>
> BACON.

En reprenant la remarque faite au début de cet exposé, selon laquelle il est possible de considérer la nature, vue par l'observateur scientifique, comme le partenaire d'un jeu de communication, envoyant à ce dernier des messages, qu'il doit au sens propre du mot *décrypter* puisqu'il en ignore à la fois le code et le contenu, la théorie informationnelle de la perception propose un nouveau point de vue sur la science elle-même comme type particulier de message, un aspect phénoménologique qui assimile l'observateur à l'épistémologiste (Fig. 9) et incite ce dernier à déterminer la nature des

Fig. 9 :



éléments du message, répertoire, hiérarchie des niveaux, etc., en fonction non plus d'un signe absolu, mais des structures mentales et logiques du récepteur.

Il y a là toute une réinterprétation de la position scientifique qui paraît originale, l'activité scientifique ayant toujours été entourée du respect dû aux dieux (ou aux vaches sacrées) ; or il est indécent de se livrer à des statistiques sur les dieux. Si la nature est un interlocuteur, dans un immense jeu mené par le savant contre le monde qui l'entoure, la science elle-même n'est qu'un type particulier de message du monde à cette espèce particulière d'êtres humains, ou quasi humains, que sont les savants.

Ce point de vue se reliera au problème de la création intellectuelle : les règles de la logique, apparaissant par exemple comme les lois d'un code contraignant, réduisant l'originalité des sémantèmes assemblés et pouvant donner lieu à des analyses fréquentielles, base d'une épistémologie statistique, qui n'a jamais été faite jusqu'ici. Ainsi se trouvent liées heuristique et épistémologie par le canal de la théorie informationnelle de l'observation. En particulier la notion de *structure latente* issue du problème de la perception par l'observateur humain de phénomènes sociaux, mais surtout de phénomènes *imprécis*, se situe exactement dans le prolongement de l'analyse des incertitudes de la perception faite plus haut.

Les structures sont des formes mentales à l'intérieur de notre esprit, par opposition aux formes que nous convoient de l'extérieur les organes sensoriels. Ces structures sont quelquefois explicites, généralement latentes, et elles nous seront fournies comme le code des contraintes des éléments du répertoire à un niveau donné. Percevoir, c'est discerner les formes, comprendre, c'est discerner des structures.

CONCLUSION.

L'examen que nous venons de faire des principaux aspects de la T. I. de la perception, propose un certain nombre de points essentiels ayant eux-mêmes la valeur d'affirmation philosophique.

1. — La T. I. réalise une liaison entre psychologie « gestaltiste » à tendance dialectique, exprimée dans l'opposition de la forme et du fond et psychologie structuraliste, qui discerne dans les seuils des organes sensoriels, des atomes de formes (morphèmes) dont elle constitue un répertoire et qu'elle réassemble dans un modèle.

2. — La T. I. part d'une situation définie, restreinte, de communications pour s'étendre par généralisations successives à l'ensemble des situations de l'individu percevant.

3. — Cette théorie nous propose une dialectique fondamentale entre ordre et désordre, l'entropie ou information

est la mesure d'un degré de désordre apparent pour l'observateur, qui est réception de signaux pour le récepteur. Elle chiffre donc cette dialectique et nous en suggère le dépassement en la réduisant à une simple dimension du monde des phénomènes.

4. — La théorie établit sur une base logique la différence entre *signification* et *information*, ce dernier mot signifiant plutôt apport d'éléments originaux pour créer une forme dans l'esprit du récepteur à partir de ce qu'il prévoit du message.

5. — Parallèlement à cette dialectique fondamentale ordre-désordre, elle suggère un certain nombre d'oppositions, dérivées de celle-ci :

Ordre	désordre
banal	original
prévisible	imprévisible
redondant	informatif
intelligible	nouveau
simple	complexe

6. — Percevoir, c'est percevoir des formes, c'est projeter sur le message une série de prévisions qui le rendent intelligible. La condition pour cela est que ce message présente une certaine redondance qui sera, du même fait, la mesure de ces formes.

6. — Plus précisément, on appellera *forme* ce qui aux yeux de l'observateur apparaît comme n'étant pas le résultat exclusif du hasard.

7. — Il existe autant de formes perceptibles que de répertoires de signaux élémentaires, c'est-à-dire de niveaux d'observation. Le sujet percevant passe d'un niveau à l'autre en établissant des sous-routines d'exploration reposant sur l'existence de groupements stéréotypés des signes qui constituent des *supersignes* qui seront à leur tour les signes du répertoire au niveau supérieur, etc. L'appréhension de cette hiérarchie est essentielle.

8. — Le récepteur humain subit, à la différence des organismes artificiels stéréotypés de la cybernétique, des fluctuations constantes de niveaux d'attention qui n'ont pratiquement jamais été étudiés par les psychologues.

9. — L'établissement de ces hiérarchies de niveaux, de ces répertoires, l'ordonnancement de ceux-ci par analyse fréquentielle, est une des tâches proposées par la Théorie des Communications aux psychologues de la perception.

10. — Rendre compte de la notion de perception, revient, pour le théoricien de la perception, à rendre compte des lois de contrainte qui régissent l'assemblage des éléments du répertoire au niveau considéré, et préciser les interférences qui peuvent se produire aux différents niveaux.

11. — La théorie du message montre qu'il existe des principes d'incertitude de la perception qui fixent des limites au déterminisme du monde concevable par le récepteur.

12. — La science apparaît comme un type particulier de message de la nature au savant. C'est la structure du récepteur qui détermine la nature du canal. C'est dire que les lois de la connaissance scientifique (épistémologie) ne sont rien d'autre que des règles de contrainte de fragments de connaissance, appelés sémantèmes, et doivent être soumises, par l'épistémologie à une analyse sémantique et fréquentielle, analogue dans son principe à celle de n'importe quel autre type de message, donnant naissance à une *épistémologie statistique*.

BIBLIOGRAPHIE

Shannon C. *Mathematical Theory of Communication* (Un. of Illinois Press).

Meyer-Eppler W. *Informationstheorie*. Springer Verlag 1958.

Cherry C. *On Human Communication*. Wiley 1957.

Wiener N. *The Human use of Human beings*. Norton 1956.

Brillouin L. *Science and Informaion Theory*. Academic Press, New York.

Steinbuch K. *Automat und Mensch*. Springer 1961.

Max Bense *Aesthetische Information*. Agis Verlag 1960.

Ruyer R. *La cybernétique et l'origine de l'information*. 1956 Flammarion.

Quastler H. *Information Theory and Psychology*. Free Press.

Frank H. *Grundlagen Problemen der Informations aesthetik*. Stuttgart.

Wieser *Organismen, Strukturen und Maschinen*.

Moles A. *Musiques Expérimentales*. Cercle d'Art Contemporain. 1961. Zurich.

Moles A. *La Création Scientifique*. Kister. Genève 1957.

Moles A. *Théorie Informationnelle et Perception Esthétique*. Flammarion. 1958.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Je remercie M. Moles de cet exposé dans lequel il a joué le jeu d'un colloque, c'est-à-dire qu'il nous a surtout posé des questions et nous a invités à des réflexions, puisque nous avions de lui un texte écrit plus construit, plus rigoureux, plus précis, et il nous a lancé avec sa fougue habituelle et son ironie aussi beaucoup de questions.

M. MACKAY.

Il y a une des nombreuses questions posées par M. Moles sur laquelle je voudrais entendre l'avis des psychologues ici présents ; c'est la question de l'applicabilité de la mesure de redondance au problème de la distinction entre figure et fond.

Il me semble que dans un cas où nous avons plusieurs lignes parallèles il y a évidemment beaucoup de régularité et pas beaucoup d'imprévisibilité ; il y a beaucoup de redondance. Mais si j'écris là-dessus la lettre *r*, vous la voyez facilement, mais il est évident que l'imprévisibilité de ceci est beaucoup plus grande que celle de cela. Je veux donc demander aux psychologues s'il est pratique d'employer le concept de redondance. Nous nous intéressons à des questions de structure ici et non pas à des questions de statistique.

M. MOLES.

La réponse que j'essaierai de fournir en attendant d'autres réponses c'est simplement cette idée de deux répertoires distincts.

La meilleure preuve, c'est que si au lieu de cette lettre *r* j'en fais une autre ou que je lui superpose plusieurs éléments successifs, je change la nature du problème et je reviens à l'exploration, je redescends à l'étage au-dessous du répertoire.

M. BRESSON.

Je voudrais savoir comment M. Moles définit la redondance, par rapport à quoi, et son incertitude, par rapport à quoi. Quand on prend une population de formes pour lesquelles, d'un point de vue physique, on peut définir une certaine quantité de redondance ou d'information, perceptivement cela ne va pas : les réponses du sujet ne sont pas décrites par les descriptions d'incertitude et de redondance au niveau du signal physique, par les descriptions physiques de cette incertitude et de cette redondance.

Par exemple si l'on a une forme symétrique et pour laquelle on peut définir une certaine redondance, il y a un privilège de cette symétrie, si elle existe par rapport à un plan sagittal médian ; ce n'est plus vrai si l'on fait basculer la forme et si cette symétrie est par rapport à un plan oblique. De même, toutes les études qui ont été faites en rajoutant du bruit sur les formes montrent que la façon dont on introduit le bruit est déterminante pour savoir ce qui se passera. De sorte que le problème c'est de sauter le pas, d'abandonner finalement complètement le modèle descriptif que nous fournit la théorie de Shannon et qui est adéquat à un certain type de phénomène ; pour un modèle structural et quand vous définissez la structure par la redondance vous ne faites pas ce progrès, vous réintroduisez des notions de structure répondant à d'autres modèles mathématiques, et qui sont étrangères à la théorie de l'information ; qu'est-elle devenue là-dedans cette théorie ?

M. MOLES.

J'ai répondu au début de l'exposé de la façon la plus explicite qu'on puisse imaginer, puisque je vous ai dit que dans la théorie de l'information on pouvait distinguer un aspect restreint et un aspect très large qui est un certain essai de voir les choses sous un aspect, et j'ai prononcé très explicitement le nom de structuralisme. La redondance due à la symétrie ressemble beaucoup au coefficient de pondération introduit par G. Birkhoff.

Là où vous allez un peu loin, c'est quand vous dites que c'est un abandon total de la théorie de Shannon. Pas tout à fait ; c'est l'utilisation d'un certain nombre de notions sur la complexité des formes, sur la quantité d'imprévisibilité, à un certain niveau. Vous avez fait vous-même l'expérience de faire sauter des mots dans un texte, de mettre des grilles superposées à une image, de mettre des occultations, par des traits

noirs ; quand vous étudiez une planche de Vasarely, vous êtes conduit à vous demander dans quelle mesure vous êtes attiré par une certaine quantité de nouveauté demandée. Je crois qu'il n'y a pas là de problème fondamental.

Ce qui est important et ce en quoi vous avez tout à fait raison, c'est que la théorie de Shannon était un problème limité à un domaine précis, étroit, et si nous voulons essayer de la développer, il faut y introduire d'autres notions. Pour moi la différence entre la théorie structuraliste et la théorie des répertoires ne m'apparaît pas clairement ; c'est une question que je pose.

M. BRESSON.

Au point de vue modèle mathématique utilisé, lorsque vous êtes au niveau de votre théorie des répertoires, vous avez complètement abandonné ce qui était l'essence mathématique de la théorie de l'information. Je ne suis pas contre la théorie des répertoires, pas du tout, je crois qu'on ne peut pas se passer de la théorie des répertoires mais elle fait appel à d'autres modes de descriptions ; le problème est de savoir si l'on doit continuer à utiliser un langage qu'on a détourné de son sens primitif.

M. MOLES.

Les philosophes peuvent peut-être nous répondre. La déviation à partir d'une doctrine initiale est normale dans l'évolution scientifique. Je le dis peut-être plus cyniquement que les autres mais je n'ai pas l'impression d'être différent d'une tradition quelconque.

M. LE PRESIDENT.

Ce qu'on vous reproche, si je comprends bien, c'est d'utiliser concurremment deux systèmes hétérogènes. C'est autre chose que la transcription sur un autre plan de ce qui a réussi sur un certain plan, ce qui est banal.

M. RIGUET.

Ces deux systèmes au point de vue mathématique ne sont pas sans rapport ; on pourrait peut-être appeler l'un information au sens de Shannon et l'autre information syntactique. Ce problème de la mesure de la difficulté d'une certaine construction, d'une certaine forme, a déjà été abordé dans un cas très particulier, celui des constructions géométriques ; à la fin du siècle dernier un mathématicien français, Lemoine, a donné les grands traits de ce qu'il appelait une géométrographie.

Il avait essayé de construire une mesure de la difficulté de la construction d'une figure géométrique à l'aide de la règle et du compas ; il avait un système de signes pour coder de manière unique une construction géométrique, et à partir de pondérations représentant les difficultés inhérentes aux constructions représentées par ces signes, il pouvait calculer une mesure de la difficulté de la construction géométrique considérée. Ces deux concepts d'information, l'information de Shannon et l'information syntactique, espèces de mesures de la difficulté d'un codage, ce sont deux concepts intimement reliés ; il n'y a donc pas lieu de faire une distinction plus nette que par l'addition d'un adjectif — je propose par exemple syntactique.

M. MOLES.

Je vous remercie de cette remarque qui vient m'aider dans une objection. Souvent à l'école on vous demande de démontrer le problème et de trouver une construction géométrique. Or j'étais très paresseux. Je cherchais à utiliser le principe de moindre effort et je m'étais fait une règle ; il y avait des constructions géométriques élémentaires, trouver une proportion, faire un produit, ajouter deux vecteurs, etc. ; et puis je prenais la formule algébrique qui résolvait le problème, je la découpais en morceaux que je traduisais en opérations géométriques élémentaires ; chacune des opérations : multiplication, élévation au carré, proportion harmonique... ce n'est pas la géométrographie, mais cela a quelques rapports. Puis je donnais une construction qui rendait furieux mon professeur parce qu'il était bien obligé de me donner au moins la moyenne puisque j'avais répondu à la question posée, « avec une règle et un compas », mais en réalité j'avais trahi ce qu'il voulait me demander. Dans le domaine de la perception, les travaux très controversés, mais très intéressants de Birkhoff s'adaptent à certains aspects de cette « perception catégorielle » qui correspond aux formes. Il y a une synthèse à faire entre ces travaux et ceux basés sur l'exploration et l'aléatoire.

La question est ouverte et je vous remercie de votre remarque.

M. RIGUET.

Alors, pour perfectionner cette mesure de la difficulté d'un codage, l'instrument idéal serait de se servir d'un concept introduit récemment en mathématique moderne, le concept de *catégorie* et de foncteur; une combinaison de foncteurs c'est une manière de coder la difficulté, de coder une fonction à partir d'un certain nombre d'autres considérées à tort ou à raison comme plus élémentaires.

M. BRESSON.

N'est-ce pas ce qu'on trouve lorsqu'on cherche à décrire les syntaxes linguistiques ?

M. RIGUET.

Parfaitement.

M. BRESSON.

A ce moment-là, ce qu'on abandonne et qu'il faudra probablement réintroduire par des notions d'approximation, c'est la notion de quelque chose d'aléatoire, d'erreur, de bruit qui apparaissait au niveau de la théorie de l'information de Shannon à un certain niveau de description. Ce que nous ne savons pas encore faire c'est décrire des approximations de structures au sens par exemple des arbres, des réseaux qui sont plus proches les uns des autres. Là je crois qu'on peut parler de théorie de l'information mais dans un sens tellement large qu'il faut préciser les mots et c'est ce que je demande.

M. RICHARD.

En effet, à partir de modèles mathématiques, il est sans doute possible de donner une définition opératoire de la forme perceptive, mais à partir de la fonction de Shannon il ne semble pas que dans le domaine de la perception visuelle la fonction de Shannon puisse fournir une notion opératoire pour déterminer la redondance.

On peut appeler redondance ce qu'on appelait bonne forme, mais a-t-on fait autre chose que traduire dans un autre langage ?

M. MOLES.

La mise en ordre approximative est chose importante en soi : on a introduit un concept *métrique*. Mais, à mon avis, ces notions ne sont vraiment intéressantes que lorsqu'on a à faire à des formes *très* compliquées.

M. RICHARD.

Mais il y a le problème des formes simples.

M. MOLES.

Ici, les théories catégorielles sont plus intéressantes.

M. RICHARD.

Un grand nombre d'expériences ont été faites en psychologie expérimentale pour essayer de traduire le degré de redondance d'une figure. Le quadrillage est une technique utilisée ; on décide d'inscrire une figure dans un carré, on divise le carré par cent lignes dans les deux sens ; on a un certain nombre de petites cases ; on fait une figure qui va consister dans le fait qu'on a rempli un certain nombre de cases, et on introduit un certain taux de bruit ; on prélève 10 % des cases contenant la figure et on les répartit de façon aléatoire dans l'ensemble. On peut étudier la difficulté de récognition du pattern, de la figure, en fonction du taux de bruit, de destruction. Il est évident qu'on trouve une relation.

Mais le plus important c'est de savoir en quels points particuliers les éléments ont été prélevés. Il semble que ce qu'on avait posé comme étant les éléments de base, les petits carreaux, ont théoriquement une probabilité égale à $\frac{1}{N}$, mais sur le plan perceptif ils ne l'ont pas.

Vous pouvez enlever un élément à un endroit et la forme reste reconnaissable ; vous enlevez un seul élément à un autre endroit et la forme disparaît. Ici s'introduisent des phénomènes différents et il ne semble pas qu'on ait pu définir la redondance à partir d'une quantité d'information. On en revient toujours à une bonne forme, à une manière d'étudier la bonne forme. La théorie de l'information avait laissé espérer qu'on pourrait étudier de façon quantitative ce que la théorie de la forme manifestait de façon qualitative. Mais jusqu'à présent on n'est arrivé qu'à des approximations trop lointaines pour dire qu'on est arrivé au niveau de la quantification.

M. MOLES.

Empruntons à la théorie des jeux le concept de probabilité subjective.

M. RICHARD.

C'est très grave ; on ne peut plus mesurer l'incertitude maximum dans la fonction de Shannon ; et c'est toujours à l'incertitude maximum qu'on rapporte la redondance.

Dans une figure perceptible, je prétends qu'on ne peut pas mesurer l'incertitude ; on ne peut pas définir les atomes de structure. Vous indiquez que la démarche à suivre c'est de découvrir les atomes de structure, puis leur redondance ; au niveau perceptif ce n'est pas possible pour l'instant, lorsqu'on a une structure qui est synchronique. Si l'on connaissait davantage l'activité exploratrice de la perception, on serait dans une situation diachronique ; alors on pourrait peut-être avoir une définition opératoire. Pour l'instant, on n'en a pas.

Dans le langage, on a des lettres, ce ne sont pas de très bons éléments mais on peut les définir objectivement tandis qu'au niveau perceptif on ne peut pas définir d'éléments autrement qu'arbitrairement ; la grille, on la fait arbitrairement : la grandeur des cases est arbitraire.

M. MOLES.

C'est exactement ce que je vous disais. La vraie façon de se sortir de cette difficulté fondamentale, c'est ce processus d'*itération*, et expérimentalement c'est là que des modèles réels de la perception qui appartiendraient à la liste de ce qu'on appelle les machines à apprendre peuvent effectivement nous fournir quelque chose.

M. RICHARD.

Nous ne sommes pas très d'accord sur le mot itération qui veut dire qu'on reprend quelque chose qu'on a déjà fait et qu'on le pousse plus loin ; ici, on décide carrément de se passer du niveau élémentaire de l'atome de structure et on passe à un niveau descriptif qui est autre, c'est le niveau qualitatif de la psychologie de la forme. Mais quelle est l'articulation des deux niveaux ? Qu'a-t-on retenu du niveau précédent ?

M. MOLES.

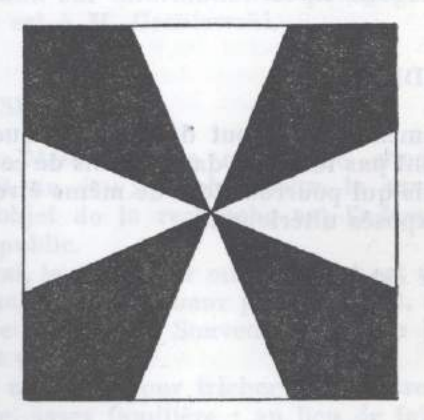
C'est pourquoi je vous propose un jeu entre différents types de répertoires. Si le mot de modèle mécanique a un sens, il ne l'a qu'à partir du moment où il est suffisamment complexe, où il comporte suffisamment d'étages ; si l'on fait un modèle simple, il sera sûrement faux, au sens même des critiques que vous présentez à une théorie qui par définition doit se découper en tranches.

M. FRANK.

Je voulais proposer quelque chose de simple, une exception à votre énoncé, selon lequel la figure se détache du fond à cause de la redondance.

Vous avez un carré ; vous faites cette figure :

Schéma :



On voit d'abord cette croix blanche. Peut-être a-t-elle plus de redondance que le reste mais après quelques secondes on voit du noir sur un fond blanc.

Je pense que c'est une exception parce que si vous admettez que la croix blanche a le plus de redondance, vous avez à accepter après que c'est la croix noire qui en a le plus. Il existe quand même des cas de limites pour votre énoncé.

M. MOLES.

C'est tout l'ensemble des figures ambiguës que vous proposez.

Les figures ambiguës ne sont pas effectivement des preuves pour ou contre la redondance. Elles sont simplement des preuves de fabrication montrant que dans notre esprit nous avons un certain nombre de signes *préalables*, et que nous faisons un certain nombre de jeux de comparaisons.

M. MACKAY.

Cela veut dire que la notion essentielle, ce n'est pas celle de redondance mais de correspondance. Cela n'a rien à faire avec la théorie de Shannon. C'est simplement l'idée que la forme correspond à un élément du répertoire.

M. MOLES.

On peut le dire ainsi.

M. LE PRESIDENT.

Nous sommes arrivés tout de même à quelques conclusions qui ne sont pas toujours dans le sens de ce qu'a dit notre ami Moles, mais qui pourront tout de même être intégrées par lui dans des exposés ultérieurs.

La séance est levée.

LE CONCEPT D'INFORMATION ET LA PLANIFICATION

M. HENRYK GRENIEWSKI
Université de Varsovie

Président : M. de GANDILLAC

M. LE PRESIDENT.

Nous devons entendre cet après-midi l'exposé de M. Greniewski sur le concept d'information et la planification, puis celui de M. Frank sur information et pédagogie.

La parole est à M. Greniewski.

M. GRENIEWSKI.

Mesdames, Messieurs, je crois que chaque recherche scientifique est un jeu ; le chercheur, le savant en est le partenaire ; l'objet de la recherche est l'adversaire. Et il y a toujours le public.

Si c'est vrai, le chercheur ou le savant est un joueur professionnel ; quand on est joueur professionnel, on a de temps en temps envie de tricher. Souvent même un joueur professionnel devient un tricheur.

Voici une méthode pour tricher dans notre jeu, méthode assez populaire, assez familière : au lieu de faire le jeu avec l'objet de la recherche, on met à sa place un autre partenaire, un autre adversaire, à savoir un modèle très simple ; le jeu devient facile, on est vainqueur, on prend l'air d'un triomphateur. Mais à vrai dire, que fait-on ? La même chose que si un boxeur annonçait qu'il va avoir à lutter avec un champion du monde et qu'en fait il n'amène qu'un pauvre imbécile qu'on peut vaincre facilement.

Cette méthode de tricher est d'autant plus facile qu'il n'y a pas une limite stable et précise entre les modèles qui sont

simples et les modèles qui sont trop simples. Malgré cela, je vais commencer mon jeu et je vais construire un modèle qui est simple et peut-être trop simple.

Je voudrais bien construire ici d'abord le modèle d'un être vivant, disons d'un animal, mais pas un modèle universel ; il ne s'agit pas ici ni de la naissance ni de la reproduction mais pour ainsi dire de la vie quotidienne d'un animal synthétique.

Les éléments qui me serviront pour construire ce modèle seront très simples, à savoir surtout les systèmes que j'appelle systèmes prospectifs, que M. Couffignal appelle maintenant beaucoup mieux systèmes déterministes, c'est-à-dire des systèmes matériels tels qu'ils possèdent au moins un input (une entrée), un output (une sortie), ou plusieurs input et output, et qui réalisent le postulat du déterminisme local.

L'énoncé du postulat du déterminisme local est : « l'état actuel de chaque output est déterminé d'une façon univoque par les états contemporains ou passés de tous les input du système ».

On peut toujours appeler chaque état d'input *stimulus*, chaque état d'output *réaction* et on peut formuler alors le postulat du déterminisme local d'une façon plus claire, à savoir que chaque réaction est déterminée d'une façon univoque par les stimuli contemporains ou passés.

Parmi les états des input et des output, ou bien parmi les stimuli et les réactions, nous allons distinguer deux sortes d'éléments : les uns seront appelés *etats physiques*, les autres *information*.

Vous avez incontestablement le droit de demander tout de suite ce que je comprends par « états physiques » et par « information ».

Je peux vous donner trois réponses ; la première est une explication : par exemple, l'action de mettre quelqu'un à la porte, c'est un état physique ; le fait d'écrire : « va-t'en », c'est l'information. La carte du menu dans un restaurant, c'est une information tandis que le plat que je reçois effectivement c'est un état physique.

Voici la première réponse.

La seconde peut s'exprimer ainsi : je vais appliquer le mot information pris dans le sens commun, en admettant qu'il s'agit des informations concernant ce que j'appelle les états physiques.

La troisième réponse : je ne sais pas ce que sont les états physiques, ni les informations, mais il est très facile de dresser une axiomatique qui concerne un ensemble d'éléments abstraits qui s'appellent états physiques, un ensemble d'éléments abstraits qui s'appellent information et une relation qui s'appelle description ; et cette relation intervient entre certains états physiques et certaines informations.

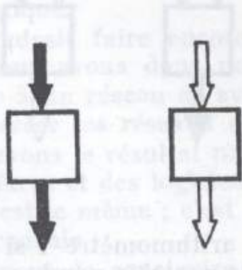
Il n'est pas nécessaire, je crois, de formuler ici explicitement cette axiomatique ; je voudrais seulement souligner un point qui me semble essentiel : cette axiomatique possède une propriété, la dualité, que vous connaissez, par exemple en géométrie projective ou dans l'algèbre de Boole. Si dans cette axiomatique on remplace à chaque endroit le mot « état physique » par le mot « information », et que chaque fois on remplace le mot « information », là où il intervient, par « état physique », si on remplace le mot « description » par l'inverse, la relation inverse qu'on peut appeler « réalisation », on obtient la même axiomatique.

C'est la même chose qu'en géométrie projective où vous pouvez dans chaque axiome ou chaque théorème mettre au lieu du point la droite, au lieu du mot droite mettre le mot point, et d'un théorème vrai on tire un théorème vrai.

Parmi les input et les output je vais discerner les input et les output physiques (je comprends par là que chaque état de ces input ou de ces output est un état physique), et les input ou output informatifs (par input ou output informatifs je comprends un input ou output tel qu'à chaque moment son état est une information).

Nous allons dessiner les input et les output physiques en noir, et les input et output informatifs en blanc (voir figure 1).

Fig. 1 :



En se basant sur une telle axiomatique on peut construire une théorie, théorie assez pauvre, mais une théorie de transformation ou, mieux, une théorie des systèmes transformant les états physiques et des systèmes transformant les informations. Et toute cette théorie est duale ; par exemple, quand vous avez un théorème concernant le transport, vous en avez un autre concernant la communication ; quand vous avez un théorème qui concerne un magasin des états physiques, vous

en avez un autre concernant la mémoire ou, mieux, un magasin des informations.

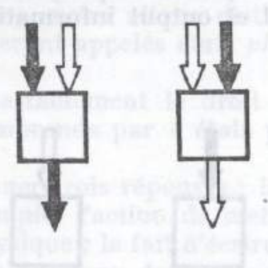
Sincèrement, je dis que c'est une théorie assez pauvre, qu'on ne peut pas suivre cette double déduction sans cesse, mais les diverses analogies connues de la vie quotidienne entre le transport et la communication sont très bien saisies par cette théorie.

Il faut spécialement étudier les systèmes qui transforment les états physiques et qu'on peut appeler gouvernails ; on pourrait penser que c'est l'unique objet de la cybernétique si par cybernétique on entend la science de gouverner, mais je ne suis pas d'accord car il y a encore des systèmes duals, ce sont des systèmes qui transforment les informations. Qu'est-ce qu'un système qui transforme les états physiques ? Il a toujours au moins deux input, un input physique, un input informatif ; d'une façon moins précise encore on peut dire un input qui gouverne, qui donne des ordres.

Quel sera le système dual ?

Au lieu du noir nous avons le blanc ; au lieu du blanc nous avons le noir ; un système transformant les informations possède au moins un input informatif, un input physique, et un output informatif (voir figure 2).

Fig. 2 :

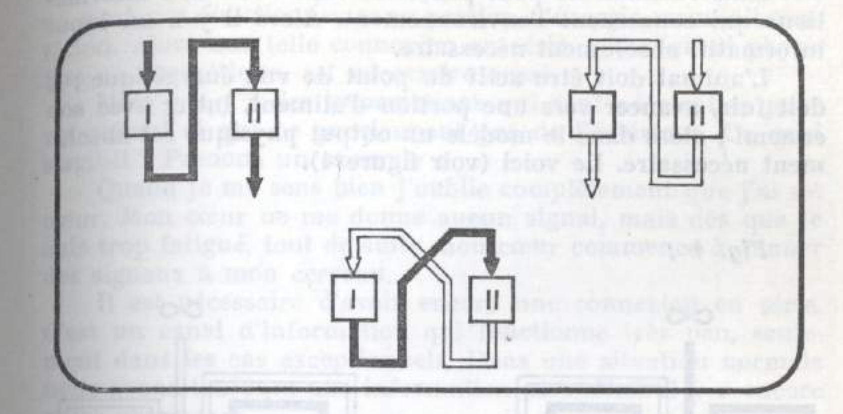


Par exemple, un arithmomètre : si je veux faire l'addition, j'ai ici d'abord le premier nombre que je vais additionner, puis le second, puis je dois appliquer une portion d'énergie en tournant la manivelle, je reçois le résultat et j'ai ainsi une information.

On peut construire des systèmes plus compliqués en ayant des systèmes simples ; on peut construire des systèmes plus compliqués en appliquant une connexion en série. Par là nous comprenons une opération consistant en ce que l'output d'un système est l'input d'un autre.

Il y a de tels cas où nous avons à faire à deux connexions en série (voir figure 3).

Fig 3 :



Il y a des systèmes où nous avons affaire à deux connexions en série à la fois ; il y a connexion en série entre le système 1 et 2 et entre le système 2 et 1 ; on appelle cela en français feed-back et non pas connexion double (*rires*).

Quant à nous, nous connaissons déjà toutes nos règles de jeu, toute notre syntaxe. Essayons maintenant de construire un petit modèle biologique.

Avant cela il faudrait faire encore une remarque : il arrive parfois que nous avons dans notre théorie affaire à un objet, par exemple à un réseau de systèmes déterministes, et nous cherchons à créer les réseaux duals.

Et puis nous recevons le résultat un peu paradoxal, mais bien connu des géomètres et des logiciens, que le réseau dual et le réseau donné, c'est le même ; c'est un fait d'autodualité, pourrait-on dire en français.

Essayons maintenant de construire un modèle d'être vivant, d'un animal peut-être, mais très restreint ; il s'agit seulement de la vie quotidienne de l'animal.

Que nous faut-il ?

Il est clair que ce modèle aura un double devoir ; il devra transformer les états physiques, transformer l'énergie ; il devra transformer les informations (voir figure 4).

Pour ce but-là, réservons deux systèmes déterministes le système C_1 qui doit transformer l'énergie et le système C_1 qui

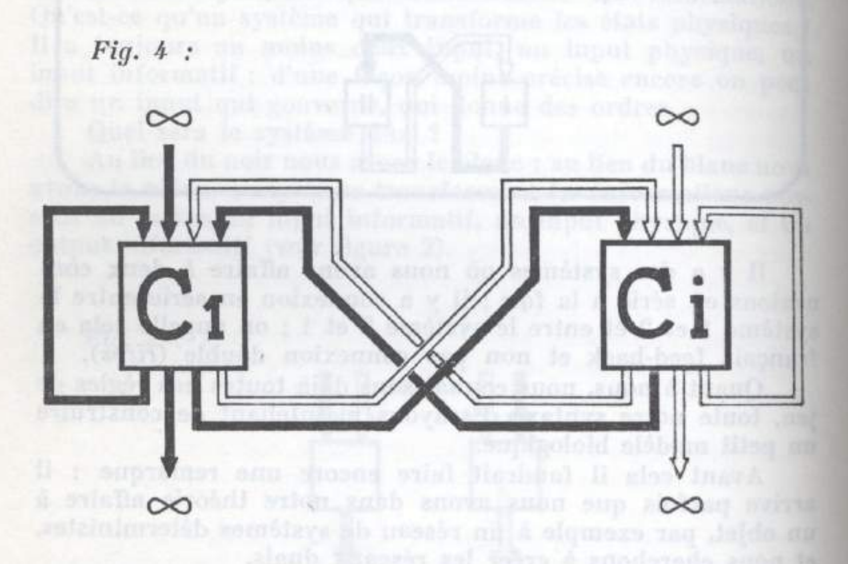
doit transformer les informations. Pour vivre l'animal doit manger, le modèle doit avoir un input physique.

Le symbole ∞ est un symbole d'environnement. On peut imaginer que par là l'énergie de l'environnement entre dans l'organisme, que c'est un input d'alimentation.

Mais l'animal ne peut pas vivre sans avoir des informations qui concernent l'environnement. Alors il y a un input informatif, absolument nécessaire.

L'animal doit être actif du point de vue énergétique ; il doit fuir, avancer vers une portion d'aliment, lutter avec son ennemi ; alors dans le modèle un output physique est absolument nécessaire. Le voici (voir figure 4).

Fig. 4 :



Un animal donne toujours des informations à son environnement même s'il ne veut pas. Il est observé par les autres animaux. Alors un output informatif semble aussi nécessaire. Mais l'énergie qui est assimilée par l'organisme n'est pas tout de suite utilisée ; un magasin de l'énergie est absolument nécessaire pour vivre. Alors nous avons besoin d'avoir ici une espèce de self feed-back, une ligne de retardement. D'autre part les informations qui entrent ne peuvent pas être utilisées tout de suite, on a besoin de ces informations dans l'avenir. Symbolisons alors le besoin de la mémoire par un self feed-back informatif.

Le premier système transforme les états physiques, l'énergie par exemple, et le second doit transformer les informations ; dans un animal, ces deux systèmes sont coordonnés ; de quelle façon ?

D'abord le système qui transforme les informations donne des ordres au système qui transforme l'énergie. Une telle connexion informative est nécessaire.

D'autre part, le système qui transforme les informations ne peut pas fonctionner sans portion d'énergie, sans alimentation. Alors une telle connexion en série, cette fois-ci physique ou énergétique, est nécessaire aussi.

Mais y il y a des informations qui sont nécessaires pour un animal et qui ne proviennent pas de l'extérieur. De quoi s'agit-il ? Prenons un exemple :

Quand je me sens bien j'oublie complètement que j'ai un cœur. Mon cœur ne me donne aucun signal, mais dès que je suis trop fatigué, tout de suite mon cœur commence à donner des signaux à mon cerveau.

Il est nécessaire d'avoir encore une connexion en série. C'est un canal d'information qui fonctionne très peu, seulement dans les cas exceptionnels. Dans une situation normale nous avons toujours une information zéro. Mais il y a encore autre chose.

Celui qui est allé à la guerre connaît bien cette situation : on est très fatigué, on est assis, on n'a pas la force de bouger, on n'a même pas la force d'allumer une cigarette, on ne bouge pas, on en a assez de la vie ; tout d'un coup le bombardement commence et on se met par terre comme un jeune homme ; on se retrouve tout frais et dispos. D'où vient cette énergie ? Dans notre modèle, il faudra avoir une petite réserve énergétique dans le système C_1 et dans les cas exceptionnels voici cette connexion en série qui va fonctionner, mais dans la situation normale la réaction de cet output est 0, elle est nulle.

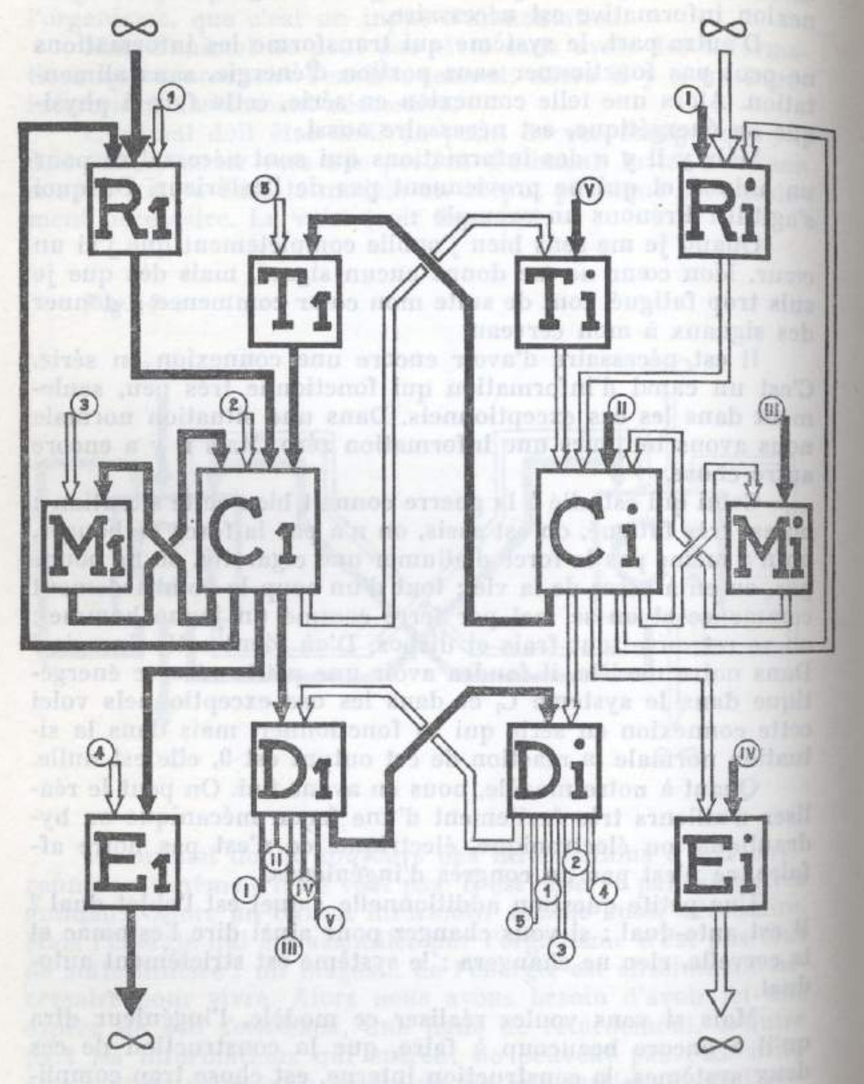
Quant à notre modèle, nous en avons fini. On peut le réaliser d'ailleurs très facilement d'une façon mécanique ou hydraulique, ou électronique, électrique, ce n'est pas notre affaire, ce n'est pas un congrès d'ingénieurs.

Une petite question additionnelle : quel est l'objet dual ? Il est auto-dual ; si vous changez pour ainsi dire l'estomac et la cervelle, rien ne changera ; le système est strictement autodual.

Mais si vous voulez réaliser ce modèle, l'ingénieur dira qu'il a encore beaucoup à faire, que la construction de ces deux systèmes, la construction interne, est chose trop compliquée pour lui ; il va nous demander un dessin plus détaillé. Et voici la méthode pour faire un tel dessin plus détaillé. A chaque fonction, à chaque input et output de notre modèle il faut attacher un organe spécialisé.

Comment obtenir cela ? (voir figure 5).

Fig. 5 :



Voici l'ancien transformateur énergétique et l'ancien transformateur des informations, et l'on ajoute un récepteur pour les informations externes, pour le ravitaillement, un récepteur pour les informations internes, un effecteur énergétique pour lutter, pour marcher, pour fuir, un effecteur informatif pour donner les informations à l'extérieur, pour faire l'émission des informations. On ajoute un magasin pour l'énergie, et un pour les informations (système M_1, M_i).

Il faut encore ajouter un effecteur interne en cas de mobilisation des réserves, des dernières réserves d'énergie. Mais d'abord chacun de ces organes doit être commandé et alimenté.

Pour celui-là, on ajoute encore deux systèmes, un système qui fait la distribution de l'énergie, et l'autre qui fait la distribution des informations d'après les adresses (systèmes D_1, D_i).

Les connexions sont ici nombreuses, aussi ne les ai-je pas toutes dessinées, mais seulement numérotées ; mais vous pouvez contrôler soigneusement qu'ici chaque organe est *alimenté* et *commandé*.

La réalisation électrique d'un tel modèle est déjà beaucoup plus facile. Si l'on commence à construire d'une façon de plus en plus compliquée des systèmes C_i, on peut parvenir à un tel système qui peut faire des plans (ce sera publié en détail dans les *Cahiers du Séminaire d'Econométrie*, et la seconde partie sera publiée dans la *Revue française de recherche opérationnelle*). Dans ce cas, l'animal synthétique devient presque, si nous exagérons, un homme planifiant.

Mais laissons tout cela et essayons de construire un modèle d'une économie nationale aussi simple que possible.

La plus simple, c'est celle avec une planification absolument centralisée, non pas nécessairement avec une *planification* mais avec un *commandement* centralisé ; je ne dis pas que c'est la meilleure mais c'est la plus simple.

Qu'est-ce que doit faire le modèle d'une économie nationale ? D'abord il doit être en contact avec l'environnement. Imaginons que cela se passe dans une île sans aucun contact avec le reste du monde humain ; l'économie nationale doit être quand même en contact avec la nature, elle doit être alimentée par la nature, sinon la production est impossible. Elle doit se rendre compte de ce qu'est la nature ; cela veut dire qu'elle doit avoir des informations externes concernant la nature.

Alors nous pouvons imaginer que ce modèle d'économie nationale est composé de deux systèmes, l'un qui transforme les matières premières, qui fait la production, l'autre qui tranforme les informations. Il faut ajouter un input physique pour les matières premières, un input informatif pour les informations qui viennent de l'extérieur, mais la production ne se fait pas d'elle-même ; pour produire il faut dépenser de l'énergie, par exemple la force du travail. C'est

pourquoi un contact actif est absolument nécessaire entre l'économie nationale et la nature (un output physique).

Si on veut ou non un certain but, on fait l'émission des informations ; puis il faut former des réserves ; il n'y a pas d'économie nationale sans réserves en matières premières ou bien déjà en produits, en semi-produits, des réserves énergétiques ; sinon l'économie nationale ne peut pas exister ; sans mémoire l'économie nationale ne peut pas exister.

Si la direction de cette économie n'est pas coordonnée avec la production, cela n'ira pas. De telles connexions en série sont absolument nécessaires.

On peut réaliser un tel modèle, donner un dessin à un ingénieur qui pourra réaliser cela, si nous avons précisé les fonctions que j'appelle des déterminateurs, fonctions où les arguments sont des stimuli et la valeur de la fonction la réaction. Mais l'ingénieur ne sera pas satisfait ; il va nous demander un dessin plus détaillé ; le voici.

On peut élaborer un tel projet d'une façon plus soigneuse ; on peut mettre au lieu du système C_i un réseau plus compliqué de systèmes déterministes informatifs, et obtenir ainsi un modèle très primitif d'une économie planifiée. C'est relativement facile à faire (voir figure 5).

Maintenant nous avons affaire à deux modèles et chacun de ces modèles a une double interprétation. Cela prouve qu'on peut étudier, calculer avec une calculatrice électronique une histoire fictive dans tel modèle, avec diverses variantes, etc. ; cela prouve qu'on peut faire à la fois des modèles qui peuvent être interprétés comme modèles biologiques et comme modèles économiques.

Cela prouve alors que ces modèles sont très pauvres. Ils saisissent seulement ce qui se ressemble dans un organisme biologique et dans un organisme social, mais je suppose que ces modèles possèdent quelque valeur didactique, qu'il y a beaucoup de questions qui sont beaucoup plus faciles à formuler quand on enseigne à l'aide de tels modèles qu'à l'aide de textes traditionnels, très longs.

Et maintenant mesdames, messieurs, c'est à vous de juger si j'ai mené le jeu comme il faut ou si j'ai triché.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Je remercie M. Greniewski de cet exposé si clair et si remarquable par la facilité avec laquelle la langue est possédée, pour l'humour aussi avec lequel cet exposé a été fait. La discussion est ouverte pour interroger le joueur sur le jeu.

M. MOLES.

Je crois que c'est entrer dans le jeu que d'essayer de voir comment un tel modèle peut être exploité pour des buts que vous n'avez pas poursuivis.

Je pense en particulier à un type de modèle qui me paraît par sa symétrie, ses propriétés duales, avoir quelques ressemblances avec celui que vous avez cité ; je travaille ici comme par association d'esprit, vous m'en excuserez, vous savez comment se passent les discussions : c'est ce modèle qui a été fait aux Etats-Unis, je crois, sur la lutte des partis, le parti de gauche et celui de droite si vous voulez, dans la conquête de l'opinion publique. Vous avez un parti de gauche et un parti de droite et ici la transposition n'est plus *quantité* d'objets et *information* à leur sujet, mais c'est : certaine couleur d'information et certaine autre couleur d'information.

Ici vous avez utilisé plusieurs couleurs ; et il me semble que ce modèle qui fait agir sur un pouvoir central et sur des groupes de pression, puis sur des modes d'opinion, ressemble assez considérablement à celui-ci.

C'est plutôt une allusion, une interprétation, une suggestion ; c'est une remarque qui me vient à l'esprit au sujet de ce que vous nous avez dit.

M. GRENIEWSKI.

Je vous remercie pour cette suggestion qui me semble fort intéressante.

Vous suggérez une interprétation tout à fait autre de tel modèle dual, autodual ; vous dites que les deux couleurs sont seulement information, mais il y a deux sortes d'informations...

M. MOLES.

Avec relation numérique entre les deux.

M. GRENIEWSKI.

Ici nous avons à faire à une question sociologique ; je ne suis pas sociologue ; je ne peux pas répondre. Est-ce que les deux partis américains agissent avec le même système ? Leur action réciproque est-elle symétrique ou non ? Je ne le sais pas.

M. MOLES.

Dans le modèle suggéré — je fais allusion à mes souvenirs, c'est donc un peu vague — mais je crois que c'est bien le cas et qu'on a pris le cas de l'influence sur des organes définis, des systèmes sensiblement réciproques, et dans lesquels les échanges peuvent être exprimés par des quantités numériques, par exemple par les quantités d'actions ou les quantités de messages *ou* les quantités de traductions de ces messages par les journaux. Vous voyez que finalement, en y pensant un peu, cette symétrie va peut-être assez loin et cela m'intéresserait pour une raison fort précise, parce qu'actuellement je travaille sur des questions telles que : comment peut-on considérer la symétrie entre la culture et les marchandises, les objets, les choses ?

La culture ou l'information au sens banal du terme, les messages, joueraient ici un rôle assez voisin ; l'une des différenciations fondamentales, c'est que quand on est marchand de charbon, si l'on vend du charbon, on a de l'argent, c'est-à-dire des signes en échange, et on n'a plus de charbon ; quand on est marchand de culture, on vend de la culture, on reçoit de l'argent et on a encore de la culture. Je me demande si ceci pourrait avoir affaire avec le problème de l'emmagasinement des informations et par conséquent d'un processus historique qui n'apparaît pas très bien ici.

M. GRENIEWSKI.

Le modèle n'est pas universel ; je n'ai pas tellement bien joué le jeu, c'est certain.

Mais je voudrais faire une remarque sur ce que vous avez dit : l'argent c'est une information, dans le sens que j'emploie, car c'est une permission alternative d'achat ; l'argent et le crédit sont des informations.

M. RIGUET.

C'est sur la définition même du modèle que j'aurai une question à poser ; j'ai bien compris la dualité entre le blanc et le noir mais je n'ai pas compris en quoi consistait la dualité entre les petites boîtes. Une petite boîte, c'est une fonction, c'est quelque chose avec une entrée ; sur chaque entrée, il y a une variable ; et il y a une sortie qui est une fonction de *n* variables. Je voudrais savoir ce que c'est que le dual de la fonction F dans votre définition.

M. GRENIEWSKI.

La fonction en général ne change pas, elle reste la même. Un simple exemple : nous avons ici deux input ; ici le deuxième est informatif et le premier est physique. Vous pouvez imaginer pour simplifier qu'ici nous avons seulement deux stimulants ; et qu'ici nous avons seulement 0 et 1 (l'input est binaire) ; mais nous pouvons ajouter qu'il y a une portion normale, qu'on mange par quanta, il y a une portion standardisée qui forme mon déjeuner et je mange toujours la même portion, par exemple la même en calories ou en contenu. Alors cela peut être aussi binaire, et le système est un conjoncteur. Nous avons ici 1, à condition que vous ayez le signal positif et que vous ayez mangé ; renversons les deux et rien n'est changé. On peut formaliser ce déterminateur de telle façon qu'il ne bouge pas quand vous échangez les vivres et les ordres.

M. RIGUET.

Cela veut dire que vous avez une fonction symétrique ; mais dans votre modèle...

M. GRENIEWSKI.

Ce n'est pas nécessaire ; vous voulez dire que la fonction suit la propriété suivante :

$$F(x_1, x_2) = F(x_2, x_1)$$

Non, ce n'est pas nécessaire. Vous avez une fonction qui n'est pas symétrique ; elle a deux interprétations, mais du point de vue mathématique c'est la même fonction.

En première interprétation la valeur de la fonction F est une portion d'énergie et en seconde c'est une information ; mais du point de vue formel, pour la calculatrice, c'est la même fonction.

M. RIGUET.

Alors le dual d'un tel réseau, c'est le même réseau où l'on a remplacé les blancs par des noirs mais où l'on a gardé les mêmes fonctions et où on les interprète d'une manière différente.

M. GRENIEWSKI.

Oui, si je faisais un exposé mathématique, — ce que j'ai évité de faire — ce que vous avez dit serait le point essentiel ; on peut construire ainsi, pour m'exprimer de façon caricaturale, le modèle du cerveau et de l'estomac ; du point de vue formel les déterminateurs sont les mêmes.

M. RIGUET.

C'est aux biologistes de répondre.

M. GRENIEWSKI.

Mais j'ai dit au commencement qu'on ne peut continuer ces dualités sans fin. Si vous commencez à construire des modèles très compliqués, vous allez tout de suite voir la différence mathématique entre le cerveau et l'estomac.

M. FESSARD.

En tant que physiologiste, je considère en effet que c'est très caricatural que de vouloir interchanger le cerveau et l'estomac, mais vous avez voulu une caricature, en fait vous pensez que c'est plus compliqué que cela. Je crois d'abord que du point de vue didactique, ce schéma peut être très utile pour les physiologistes par exemple, non seulement pour des neuro-physiologistes mais pour des physiologistes en général ; d'ailleurs ils se servent de schémas de ce genre constamment, sans souligner, comme vous venez de le faire, cette dualité.

Je vous mets en garde contre l'idée que le côté informatif implique uniquement le cerveau ; il y a d'autres messagers, des messagers chimiques, sous forme d'hormones par exemple, qui jouent un rôle très important dans l'organisation des échanges métaboliques ; c'est bien connu.

D'autre part, je ne suis pas d'accord lorsque vous dites que, dans l'état normal, C_1, c'est-à-dire le transformateur énergétique, n'enverrait jamais de messages, quand cela va bien, au transformateur informatif ; ce n'est pas vrai ; il y a constamment, même quand nous allons bien, et c'est pour cela que nous allons bien, des régulations inconscientes qui ne sont pas informatives au sens conscient du mot, mais qui existent constamment dans notre organisme sous forme d'influx nerveux, et de régulations hormonales ; c'est en cela qu'il faudrait raffiner si l'on se servait de ce modèle devant des étudiants.

Il y a aussi un autre aspect qui rejoint la pensée de M. Moles concernant l'information, certains aspects de l'information qui dans certains cas peuvent se multiplier sans se perdre et c'est le cas de l'influx nerveux qui dans les branches axonales se distribue en gardant son contenu informatif ; et puis il y a des cas où ce n'est pas comme cela : nous faisons une correspondance étroite entre la matière que nous achetons ou que nous vendons et la monnaie ; bien sûr il y a les inflations mais il y a tout de même là une contrainte qui n'existe pas pour d'autres formes d'information ; je ne sais pas si, dans ce cas-là, le dualisme n'est pas un peu en défaut.

M. GRENIEWSKI.

Je veux d'abord me venger. Vous avez raison, ce n'est pas seulement le cerveau mais ce n'est pas non plus seulement

l'estomac ; c'est l'estomac et les poumons, et les reins, tous ensemble, et ce n'est pas l'alimentation seulement qui reste dans notre organisme ; vous avez raison ; c'est bien plus compliqué dans la réalité ; cela ne veut pas dire qu'on peut conserver en s'approchant de la réalité, la dualité ; mais je crois qu'il n'est pas mal, du point de vue purement didactique, d'abord de donner un modèle autodual, puis de donner un modèle seulement symétrique où les fonctions déterminantes ne seront plus les mêmes ; et puis de passer au troisième problème en nous approchant encore de la réalité ; nous perdons déjà la symétrie qui était si belle car il y a telles et telles exceptions. Je crois que du point de vue didactique ce n'est pas faux.

On commence avec un modèle qui n'est pas seulement simple, mais qui est beau, cela possède une valeur *didactique*, pas seulement esthétique ; puis quand il s'agit de ces deux sortes d'informations comme la presse et l'argent, on peut les saisir très bien avec mes notions.

Qu'est-ce que la presse ? C'est un système déterministe. Il y a un input informatif, il y a plusieurs output informatifs, mais il y a encore autre chose : un input physique ; cela coûte du travail si vous voulez copier les informations ; un système transformant les informations ne les transforme pas en contenu, seulement en nombre, mais cela coûte un effort ; il y a de l'énergie qui est absolument nécessaire pour réaliser cela.

M. LE PRESIDENT.

Puis-je vous poser une question naïve, qui vous paraîtra peut-être hors de propos mais qui m'est suggérée par l'une des objections faites par M. Fessard concernant le cerveau ? Pour des philosophes qui risquent d'être accusés d'un idéalisme, d'un spiritualisme périmé, il y a une question, c'est de savoir si le mot information tel que vous l'avez entendu au long de votre exposé ne signifiait pas prise de conscience ou n'était pas toujours lié à une prise de conscience, car les exemples que vous avez donnés impliquent, me semble-t-il, la prise de conscience ; vous avez dit : « l'information ce n'est pas l'aliment que je mange mais c'est la carte ». Cette carte elle-même c'est un morceau de papier, une ardoise, quelque chose de matériel, qui par lui-même ne devient information qu'à partir du moment où je sais lire, où je comprends la langue dans laquelle c'est écrit. Tous vos exemples faisaient intervenir directement la conscience, c'est pourquoi M. Fessard a justement fait remarquer qu'il y a d'autres formes d'informations données à l'organisme qui ne sont pas conscientes.

Je ne crois pas qu'il y ait à opposer le cerveau à d'autres parties de l'organisme, mais la coupure ne serait-elle pas plutôt entre le domaine où intervient le fait de la conscience et celui où interviennent uniquement des réalités matérielles non conscientes, que ce soit ce que je mange ou l'air que je respire, d'une façon générale les échanges de l'organisme avec le monde extérieur sur le plan physico-chimique ? Je ne sais pas si j'ai bien compris le sens que vous donnez au mot information.

M. GRENIEWSKI.

C'est une question très intéressante. J'ai pensé souvent à ces problèmes. Mais je crois qu'il ne s'agit pas ici des informations qui parviennent à la conscience.

Dans la théorie même nous avons affaire à des éléments d'un espace abstrait. Puis viennent les interprétations. Alors vous pouvez interpréter cette théorie d'une telle façon que le niveau du mercure dans le thermomètre est une information même quand personne ne voit le thermomètre, mais qu'il fait partie d'un thermostat.

M. LE PRESIDENT.

Il a été construit par un technicien qui avait une science et le thermomètre n'a de sens que si j'ai une science physique. Vous avez imaginé d'avoir à planifier l'économie d'un système clos, d'une île ; c'est l'île Utopie de Thomas Moore ; mais il y a des préalables de deux sortes : l'existence d'un environnement physique et la connaissance que nous en avons ; ne faites-vous pas appel à une culture, à un savoir ?

M. GRENIEWSKI.

Oui ; il y a diverses interprétations possibles de ma modeste théorie ; l'une de ces interprétations admissibles est une interprétation anthropologique ; nous sommes d'accord. Mais je soutiens la thèse qu'il y a d'autres interprétations ; il s'agit de systèmes où l'homme n'intervient pas comme élément du

mécanisme ; il peut intervenir comme constructeur, mais je n'exclus pas de telles interprétations d'un système naturel qui n'est pas créé par l'homme, où il n'y a même pas d'être vivant, mais où il y a des flux très faibles d'énergie qui donnent de grands résultats énergétiques, et ces flux très faibles je les ai appelés les informations. Tous les postulats de la théorie seront aussi réalisés.

Voilà la réponse aussi exacte que je peux, sans préjugé philosophique.

M. FESSARD.

Je voulais dire, en me plaçant dans mon domaine, que pour illustrer ce débat, en ce qui concerne les messages inconscients, qui ont de l'information, qui sont transportés par l'influx nerveux ou par des hormones, ils agissent non pas en fonction de leurs propriétés physico-chimiques mais en fonction de leur structure spatio-temporelle. Je le dis toujours à mes étudiants : il y a deux façons d'étudier l'influx nerveux, ou bien nous nous préoccupons de sa nature physico-chimique (quelles molécules interviennent, quelles forces physiques interviennent), ou bien nous sommes dans la perspective de l'information et de la cybernétique où l'on ne s'occupe pas de savoir s'il s'agit d'électricité, de magnétisme, mais ce qui importe c'est qu'il y ait une organisation spatio-temporelle, une séquence tous les centièmes de seconde, avec une certaine distribution spatiale des activités, une certaine constellation d'activités. C'est cela qui joue, comme une forme est adaptée à une autre et c'est cela qui permet des congruences qui déclenchent des activités adaptées ou non ; voilà la différence entre l'information, concept utile pour expliquer le fonctionnement d'un organisme, et la partie énergétique et métabolique. Il y a deux points de vue qui sont tout à fait différents.

M. GRENIEWSKI.

Je suis très reconnaissant de votre intervention.

M. LE PRESIDENT.

Si je vous ai fait ma remarque, c'est parce que j'étais sensible au titre de votre exposé et à l'application finale que vous vouliez en faire en ce qui concerne la planification.

M. GRENIEWSKI.

Le titre était faux !

M. LE PRESIDENT.

Bon ; il me paraissait alors difficile d'éliminer l'élément de savoir, au sens le plus commun de ce mot savoir.

M. MOLES.

Que donnerait un tel modèle dans les problèmes des sociétés animales, plus exactement de ce qu'on appelle l'écologie animale ? Deux espèces vivent autour d'une mare, il y a du blé qui pousse...

Le problème a été étudié de façon classique, et il a servi aux gens qui faisaient de l'économie en système fermé.

Et dans quelle mesure peut-on considérer les informations (j'aimerais mieux dire des messages pour des raisons de purisme de langage, car l'information c'est la mesure et le message c'est la chose), dans quelle mesure peut-on effectivement, contrairement au paradoxe que j'ai soulevé tout à l'heure, considérer que des messages, des connaissances, sont une denrée, un produit qu'on achète, qu'on entrepose, qu'on vend, qu'on loue ?

Un cas amusant est celui des ingénieurs-conseils en propriété industrielle qui ont un bureau et un certain nombre de cogitateurs en chambre, chacun dans un petit coin de Paris avec sa petite bibliothèque, ses connaissances, son accès à la Bibliothèque nationale ; S. V. P. se sert de gens comme cela. De temps en temps on leur demande une information particulière qu'ils trouvent dans un bouquin obscur, mais ils sont les seuls à en connaître la voie. Cela a servi une fois, cela ne servira plus jamais et on les paie tant ; on paie dix mille francs le renseignement qui tient dans une page de douze lignes ; dix mille francs les douze lignes ; c'est précis et c'est comme du charbon ; une fois que cela a servi, cela circule, c'est revendu avec plus-value ; je me demande dans quelle mesure la culture sous son aspect de processus cumulatif, de jeu sur l'érudition, en même temps que de jeu sur l'originalité, ne fait pas fréquemment cet usage.

M. LE PRESIDENT.

Il y a la nouvelle qui n'a de valeur marchande que si elle arrive à un moment déterminé ; un instant après elle

a été divulguée ailleurs, elle n'a plus aucune valeur marchande.

M. MOLES.

C'est comme la viande dans un frigo. Si ce n'est pas consommé dans un délai donné cela ne vaut plus rien.

M. LE PRESIDENT.

Le seul frigidaire qui empêche le flash de perdre sa valeur c'est le black-out.

M. MOLES.

Ou l'invention, l'intemporalité.

M. ROSENBLITH.

J'ai quelques petites remarques disparates à faire. J'ai été très sensible à la beauté didactique de l'exposé de M. Greniewski.

Je crois en effet qu'en science empirique tous ceux qui font de la théorie sont toujours un peu des joueurs. L'astuce, c'est simplement de tricher, mais non pas de façon banale. Je ne doute nullement que ce que vous avez fait ici n'est pas banal, mais avez-vous eu des résultats autres qui soient dérivables de ce modèle ?

M. GRENIEWSKI.

Pas trop ; c'est encore tout chaud. Ces considérations ont été finies il y a quelques jours ; peut-être cela ne serat-il pas fécond.

Quand il s'agit de l'application de tel modèle dans le domaine de l'économie politique, je puis dire que cela facilite énormément le travail aux étudiants. Ce que vous pouvez montrer sur un simple modèle, pas nécessairement dual, basé sur cette méthode, vous ne pouvez l'écrire qu'en trente ou quarante pages au moins et tout cela devient obscur tout d'un coup. La langue n'est pas une chose neutre. Je donne

toujours cet exemple aux étudiants : prenez une carte d'Afrique, presque la plus simple, car il y a très peu d'investissements en Afrique, peu de lignes de chemin de fer ; et écrivez-moi toutes les informations qui sont dans cette carte en langue ordinaire ; cela donne un gros volume mais ce n'est pas encore tout ; le volume ne servira à rien, il faudra organiser un index spécial pour fouiller dans le volume, tandis que la carte donne tout de suite des informations, des messages, si vous préférez, en grand nombre. Probablement c'est une question de dimensions ; notre langue écrite est cantorienne, unidimensionnelle, comme notre langue acoustique ; elle est très incommode à vrai dire, tandis que les langues à deux dimensions donnent une grande quantité de messages sur une toute petite surface, et c'est pourquoi je suppose que ce type de modèle possède généralement une grande portée didactique ; j'ai expérimenté cela dans le domaine économique ; pour le domaine biologique, je ne sais pas ; je voulais voir ce que vous diriez.

M. LE PRESIDENT.

Il n'y a plus d'autres remarques ?

INFORMATION ET PÉDAGOGIE

par HELMAR FRANK (Waiblingen)
Membre du Groupe des Recherches « Lernende Automaten »
(Technische Hochschule Karlsruhe)
de la Deutsche Forschungsgemeinschaft (*)

Président : M. de GANDILLAC

M. LE PRESIDENT.

La séance est reprise.

La parole est à M. Frank sur le sujet : information et pédagogie.

Un certain nombre d'images seront projetées.

M. FRANK.

1. *Généralités.*

Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs, mettre la pédagogie en relation avec la théorie de l'information veut dire : considérer la pédagogie sous un aspect cybernétique. Dans ses « *Notions de base* » (1958, p. 50), L. Couffignal trouve justifié de considérer la pédagogie « comme un domaine spécial... d'efficacité de la cybernétique ». Cela pose la question philosophique : *est-il possible, et, dans l'affirmative, pourquoi est-il possible, de traiter la pédagogie dans un cadre cybernétique ?*

Il y a toute une série de définitions de la cybernétique : les unes très restreintes, selon lesquelles la cybernétique n'est

(*) Actuellement professeur à la Pädagogische Hochschule, Berlin.

pas autre chose que la recherche des analogies entre les systèmes rétro-actifs techniques et biologiques, les autres très vastes comme la définition bien connue de L. Couffignal : « La cybernétique est l'art d'assurer l'efficacité de l'action » (1958, p. 31). Heureusement il n'est pas nécessaire ici de choisir entre les définitions existantes ou d'en ajouter une nouvelle. Il suffit de donner deux exemples de problèmes qui sont incontestablement des problèmes cybernétiques et en même temps des problèmes pédagogiques.

1er exemple.

Prenons comme premier exemple l'usage préféré des modèles non-dialectiques, dont le caractère cybernétique est souligné par L. Couffignal (1958, p. 46) et K. Steinbuch (1961 *b*, p. 593). On peut distinguer quatre buts de ces modèles (Frank, 1963) :

1) Le but purement technique : le modèle d'un fonctionnement psychophysiologique est construit pour remplacer l'homme dans ce fonctionnement ;
2) Le but purement philosophique, mis en relief par A. Moles (1958, p. 202) : l'existence d'un modèle physique « joue dans les sciences humaines le rôle des *théorèmes d'existence...* » ;
3) Le but heuristique — le plus important — dont une théorie systématique a été formulée par G. Eichhorn (1961) ;
4) Le but didactique — envisagé longtemps avant la cybernétique par les pédagogues.

Dans le cadre de notre étude le but didactique n'est qu'un cas spécial du but heuristique. Le but heuristique des modèles est finalement l'accélération du progrès scientifique, le but didactique est l'accélération de l'apprentissage par l'élève des théorèmes connus. Mais le progrès scientifique n'est pas autre chose que le processus d'apprentissage de l'humanité ; ce processus est accéléré par les modèles *didactiques*, parce que ceux-ci mettent les futurs chercheurs plus tôt dans l'état de travailler au service des sciences. Suivant K. Steinbuch (1961 *a*, p. 139), un système *apprend* s'il améliore son modèle interne du monde externe en fonction des expériences précédentes. K. Steinbuch parle des machines et des êtres vivants, mais on pourrait utiliser cette définition également pour l'apprentissage par les sociétés. Là les modèles didactiques, utilisés dans l'enseignement, constituent des parties matérielles du « modèle interne » du monde, que développe cette société.

2e exemple.

Notre deuxième argument sur la possibilité de traiter la pédagogie dans le cadre de la cybernétique est la *fonction cybernétique* de toute pédagogie. En effet : si la cybernétique est l'art de rendre efficaces les actions d'un système complexe pour que celui-ci « atteigne le but qui lui est assigné » (Couffignal, 1958, p. 31), on a besoin d'une cybernétique pour rendre efficaces les actions d'une société, pour qu'elle atteigne les buts qu'elle s'est proposés, parce qu'une société n'est pas seulement un ensemble d'individus mais un système très complexe formé par ces individus.

Or, un tel système agit d'une manière efficace :
1) Si les individus se spécialisent.
2) Si les individus possèdent un minimum de langue commune, des connaissances communes, et d'accord quant aux buts communs (Frank, 1962 *b*).

L'art de rendre efficaces les actions d'une société est donc l'art de réaliser ces deux conditions. La pédagogie, au sens large du mot, est la partie principale de cet art, parce que :
1. En enseignant l'analyse logique et grammaticale de la langue maternelle, elle rend efficace son utilisation ;
2. En enseignant les bases des sciences fondamentales, elle développe les connaissances communes à tous les membres de la société ;
3. En construisant un système adéquat d'enseignement de divers degrés, elle permet la spécialisation ;
4. En ne s'occupant pas seulement de l'enseignement, mais, plus généralement, de l'*éducation* elle produit le minimum requis de conformité du comportement social.

Il faut nettement distinguer la partie scientifique et la partie idéologique (ou normative) de la pédagogie.

La *partie idéologique* consiste en une élaboration des maximes ultimes et des conséquences actuelles de celles-ci, en bref, dans un développement du système cohérent des buts à atteindre par les moyens de l'enseignement et de l'éducation. Donc la finalité est l'âme de la pédagogie comme de toute la cybernétique, mais les buts, qui sont généralement donnés au cybernéticien, ne le sont pas pareillement au pédagogue ; ce dernier, étant membre de la société, contribue au développement des maximes et joue même le rôle dominant dans le développement des maximes de l'éducation (*).

(*) L'existence des écoles où les langues latines et grecques sont enseignées non point à quelques futurs spécialistes (comme on fait en Europe avec la langue chinoise plus répandue actuellement !) mais à une fraction dominante des meilleurs élèves, en fait la preuve ; un tel enseignement est efficace seulement pour donner les moyens à un nombre aussi grand que possible d'individus de lire les textes originaux de César, d'Aristote et d'autres auteurs anciens déjà traduits. Il est contestable que ce soit le but d'une société, mais bien probablement c'est un but choisi par quelques pédagogues. Pour atteindre l'amélioration des conditions d'existence, ou, plus précisément, pour augmenter la liberté de tous les membres d'une société, l'enseignement des mathématiques, des sciences naturelles, et surtout de l'anglais, de l'allemand, du français et du russe (langues indispensables pour les futurs hommes de science, ingénieurs, économistes et hommes politiques !) serait beaucoup plus efficace.

Quant à la *partie scientifique* de la pédagogie celle-ci se subdivise en deux parties :
1. L'étude du système récepteur d'information, c'est-à-dire l'étude psychologique de l'élève et des groupes d'élèves pour pouvoir établir les théorèmes de base d'un procédé optimal d'enseignement ;
2. La codification des connaissances actuelles selon des règles dites didactiques, déduites à partir de ces théorèmes de base d'enseignement.

Ces deux points de la partie scientifique de la pédagogie reflètent évidemment deux problèmes cybernétiques correspondants, c'est-à-dire :
1. La psychologie informationnelle, ou une certaine application de la théorie de l'information à la psychologie, application qui a déjà permis de préciser (*) et d'expliquer quelques méthodes connues d'enseignement ;
2. Le développement des machines à enseigner.

Dans un petit livre « *Kybernetische Grundlagen der Pädagogik* » (Frank, 1962 *a*), dont une traduction française et une traduction russe paraîtront prochainement, nous avons essayé de développer plus profondément le deuxième argument consacré à l'essence cybernétique de la pédagogie. Là nous en avons analysé la partie idéologique et la partie scientifique. Dans le cadre du présent exposé nous nous bornerons à la partie scientifique en donnant quelques exemples de l'application de la théorie de l'information à la psychologie.

(*) Cette précision pourrait d'ailleurs probablement aboutir à de meilleurs procédés de programmation des machines dites sémantiques pour simuler les processus d'apprentissage et de la résolution des problèmes (*problem solving*).

2. *Application de la théorie de l'information à la psychologie.*

Il faut distinguer entre deux applications de la théorie de l'information à la psychologie (voir Attneave, 1959 ; Luce, 1960) :

1) La théorie de l'information peut être utilisée comme méthode statistique, remplaçant par exemple le calcul des corrélations par un calcul de l'information transmise par une variable à une autre. (F. Bacher, 1957, en donne une description comme procédé pratique.) Ce n'est pas le sujet de notre exposé.
2) Les phénomènes psychologiques peuvent être regardés comme des processus de traitement et de transmission de messages et on peut chercher des énoncés quantitatifs en termes d'information (comme aspect mesurable du message). Nous appelons l'ensemble de ces recherches « psychologie informationnelle » (Frank, 1960 *a*).

Il est bien connu des psychologues, depuis le XIXe siècle, que la perception des délais du temps a des seuils comparables avec les seuils des autres sens. Le seuil de perception est le quantum subjectif du temps (*) (SQZ = subjektives Zeitquant), dont l'ordre de grandeur est de 1/16 s. (Moles — 1958, p. 23, parle de « l'épaisseur du présent »). La limite de saturation est de l'ordre de $T \leqq 10$ s. Moles (1958, p. 100) appelle ce délai « la durée de présence », parce que tout ce qui devient présent à la conscience le reste pour environ 10 s. au maximum. (Sauf si l'on se force à le *garder* conscient, en détournant l'attention des événements extérieurs aussi bien que des associations jaillissant de la mémoire préconsciente.) On peut donc considérer en première approximation la conscience comme liée à un dispositif d'emmagasinage des messages pour le temps T tout en gardant leur ordre temporel. Nous avons appelé ce dispositif — qui, bien sûr, n'est qu'un modèle ! — « Kurzspeicher » (Frank, 1962 *a*, p. 90). Des expériences bien connues de Miller, Bruner et Postman (1954) et de plusieurs autres, on peut conclure (voir pour les détails par exemple Frank, 1962 *c*) :

(*) Le premier qui en a parlé semble être Karl Ernst von Baer à l'occasion d'un discours prononcé en 1860 à Saint-Petersburg en Russie. Ce discours vient d'être imprimé comme reproduction de l'édition originale et paraît dans un numéro spécial des *Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft* (Verlag Schnelle, Hamburg-Quickborn, 1962).

1) Que le temps requis pour qu'un signe soit dans le Kurzspeicher est une fonction linéaire de son information ld $1/h$ (h étant sa fréquence relative), si le signe n'est pas trop pauvre en information, comme les chiffres binaires ou même décimaux ; donc la mesure de l'information est vraiment utile pour une description comprimée de certains phénomènes psychologiques ;
2) Que la capacité d'affluence vers le Kurzspeicher (*) est environ $C_k = 16$ bits/s ou 1 bit/SZQ. (Frank, 1959 ; 1960 *a*).

On peut calculer approximativement à partir de $C_k = 16$ bits/s et $T \leqq 10$ s une borne supérieure pour la capacité d'emmagasinage du Kurzspeicher de $K_k = C_k . T \leqq$ 160 bits. Ce chiffre est conforme à un maximum de 32 objets simultanément présents à la conscience — chiffre qui certainement n'est pas trop petit.

En effet la capacité K_k est rarement épuisée : on ne peut pas avoir simultanément présents à la conscience 160 chiffres binaires (1 bit par chiffre), ni même 48 chiffres décimaux (3,32 bits par chiffre), mais plus facilement une douzaine de mots (environ 12 bits par mot à l'extérieur du contexte). L'explication de cette « anomalie » pourrait être qu'un signe ne quitte pas la conscience précisément T s après y être apparu, mais que la *probabilité* que ce signe soit sorti de la conscience converge vers 1 si le temps après son aperception tend vers T. La vitesse de cette convergence semble être moins grande pour les signes à information élevée !

Nous n'avons pas encore parlé de l'information sémantique des signes. Nous ne parlons pas de la définition logistique de Carnap et Bar-Hillel, mais nous essayons de transformer la définition de l'information donnée pour la fonction syntactique des signes en une définition analogue pour la fonction sémantique. La fonction sémantique d'un signe Z_i est sa fonction consistant à codifier un autre objet O_j ou à participer à une telle codification. Donc nous avons deux séries d'événements :

(*) Il ne faut pas prendre cette valeur d'une manière trop dogmatique. Bien que des arguments théoriques et une grande partie des résultats empiriques soient en accord avec cet ordre de grandeur, il y a d'autres expériences dont les résultats sont distribués entre 10 bit/s. et 25 bit/s. En lisant des chaînes de signes, dont l'information est très petite, par exemple des chiffres binaires, on peut même percevoir par seconde moins de 10 bit/s. Il semble qu'en ce cas la vitesse de perception n'est pas freinée par C_k mais par la vitesse limitée des processus nerveux dans des niveaux inférieurs.

1) Les « textes », c'est-à-dire les chaînes ou complexes de signes ; l'information moyenne de ceux-ci est $H(Z)$.
2) Les objets ou événements décrits par les signes. L'information moyenne de ceux-là est $H(O)$.

Or, si le texte a une fonction sémantique, il n'est pas indépendant des objets dont il parle, c'est-à-dire :

$$(1)\ S(Z) = H(O) - H_z(O) = H(Z) - H_o(Z) > O$$

Si le texte contient N signes ou complexes (chaînes) de signes nous appelons $N.S(Z)$ son information sémantique (*).

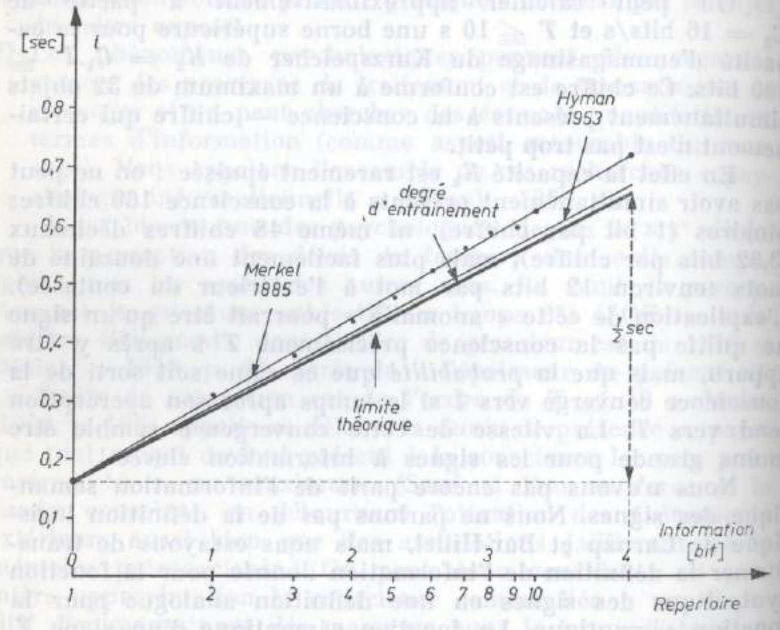


Fig. 1

Les expériences de Merkel et Hyman : le temps de réaction comme fonction linéaire de l'information. Les courbes expérimentales tendent vers la limite théorique si l'exercice se prolonge.

(*) H_o (Z) est une mesure d'incertitude sur les signes pour quelqu'un qui connaît déjà la signification (les objets ou événements) ; donc $N.H_o(Z)$ est l'information sur la façon dont les idées données sont exprimées. On peut appeler cette information l'information « esthétique » du texte. Bien que cette définition ne soit pas conforme avec celle donnée par A. Moles (1958), elle aboutit aussi à l'énoncé : l'information (syntactique) des signes est la somme de leur information sémantique et de leur information esthétique, en formule :

$$N.H(Z) = N.S(Z) + N.H_o(Z)$$

Or, une particularité de notre conscience est la distinction qu'elle fait entre un signe et sa signification, même si les deux variables sont strictement liées, de façon telle que H_z (O) soit zéro. On peut donc s'imaginer que le Kurzspeicher reçoive d'abord un signe Z, de probabilité p_i par perception du monde extérieur, ce qui requiert un temps ld $1/p_i$ mesuré en SZQ ; immédiatement après que le signe est devenu conscient, sa signification le devient par mémorisation, ce qui requiert un temps ld$1/q_i$, q_i étant la probabilité d'occurrence de cette signification. En somme on aurait besoin d'un temps en SZQ

$$t = \text{ld}1/p_i + \text{ld}1/q_i = \text{inf}_{syn} + \text{inf}_{sem}$$

pour percevoir le signe et sa signification, donc plus que pour un signe de la même probabilité, mais sans fonction sémantique. Cette hypothèse est vérifiée par les expériences bien connues de Merkel (1885) et Hyman (1953) pour le cas $p_i = q_i$ pour tout i), donc H_o (Z) $= H_z$ (O) $=$ O, donc $S(Z) = H(Z)$, de façon telle que l'information sémantique est égale à l'information syntactique. Parce que la fig. 1 montre que — après un entraînement suffisant, qui était mieux atteint par un des sujets de Hyman que par ceux de Merkel — le temps de réaction s'élève de 1/8 s si l'information du stimulus s'élève de 1 bit (et de même son information sémantique, c'est-à-dire en ce cas l'idée de la réaction demandée). On en peut conclure que le Kurzspeicher peut recevoir 16 bits/s si l'on additionne l'information sémantique à l'information syntactique.

Parlons maintenant des signes sans fonction sémantique. Pour percevoir toute une séquence de longueur N, on aura donc besoin d'un temps

$$(2)\ t\ (SZQ) = N. \Sigma\, h_i \text{ld}\ 1/p_i$$

h_i étant la fréquence relative dans la séquence, p_i étant la probabilité du signe Z_i. La probabilité est dans le cadre de nos réflexions une grandeur subjective, c'est-à-dire la fréquence relative *habituelle*, qui dépend donc de l'environnement habituel du sujet, ou, en termes de notre modèle, qui est inscrit dans un dispositif d'entrée du Kurzspeicher. Si les signes sont indépendants les uns des autres et s'il y a des écarts entre les h_i et les p_i on peut facilement prouver (voir p. ex. Frank, 1962 *c*) que

$$(3)\ \Sigma\, h_i\ \text{ld}1/p_i > \Sigma\, h_i\ \text{ld}1/h_i$$

En ce cas, nous appelons l'expression à la gauche de l'inégalité « H_{sub} » ou « information subjective moyenne »

des Z_i dans le texte donné. Une convergence aussi rapide que possible des p_i vers les h_i signifiera à cause de (2) et (3) un gain de temps. Nous avons appelé cette convergence « accommodation informationnelle ». Un homme (et spécialement un élève !) dont l'accommodation informationnelle est plus rapide que celle d'un autre est capable de prendre conscience, dans un délai de temps donné, de plus d'information du nouvel environnement qu'un autre, et il est pareillement apte à réagir en moyenne plus vite aux événements dont les probabilités ont changé. Donc — toutes choses égales (point qui est essentiel !) — il semble être plus intelligent. Nous avons pu trouver cette conséquence de notre théorie dans des expériences sur des élèves dont l'âge était environ quatorze-quinze ans (Frank, 1960 *b*, 1962 *a*).

Ces réflexions amènent à une autre hypothèse. Si les temps requis par les signes Z_i de probabilité p_i pour être $N.h_i$ fois perçus au cours d'une séquence de longueur N est de $N.h_i \mathrm{ld} 1/p_i$ (SZQ), et si donc les rapports entre les « espaces » requis dans le Kurzspeicher sont approximativement les mêmes que les rapports entre les valeurs $h_i \mathrm{ld} 1/p_i$, il est aisé à concevoir, que $h_i \mathrm{ld} 1/p_i$ (donc, après accomodation informationnelle terminée : $h_i \mathrm{ld} 1/h_i$) est une mesure adéquate du « frappage » (der « Auffälligkeit ») A_i d'un signe Z_i dans un cadre de référence (contexte donné). Nous écrirons

$$(4.1)\ A_i = h_i \mathrm{ld} 1/h_i \qquad (4.2)\ A_{i,sub} = h_i \mathrm{ld} 1/p_i$$

L'importance esthétique de la notion de frappage est bien évidente : si un signe (par exemple un phonème dans un poème onomatopoétique ou une tache de telle ou telle couleur dans une peinture) doit être mis en relief plus qu'un autre par des moyens purement statistiques, alors sa mesure de frappage doit être plus grande. Il y a des œuvres d'art où le maximum possible est atteint (voir par exemple Frank, 1959, p. 45-47). De plus il est aisé à concevoir que les sujets, qui n'ont pas été beaucoup entraînés par l'exercice à estimer les fréquences relatives de signes quelconques (par exemple des lettres différentes d'un texte), confondent celles-ci avec les « frappages relatifs » :

$$(4.3)\ a_i = A_i/H = h_i.\ \ddot{U}_i \ (*)$$

(*) $\ddot{U}_i = \frac{I_i}{H} = \frac{\mathrm{ld}\, 1/p_i}{H}$ me semble être une mesure plus adéquate pour le degré de surprise (« Überraschungswert ») provoqué par un signe ou un événement de probabilité p_i — que son information. Prenons l'exemple d'une pièce de monnaie un peu déformée, dont la probabilité de montrer face après avoir été jetée est seulement 1/10. Si néanmoins le côté face apparaît (information 3,32 bits) je suis naturellement plus surpris que dans le cas du côté pile (information 0,15), mais la surprise est même beaucoup plus grande que dans une autre situation où le chiffre 6 apparaît au lieu d'un autre des dix chiffres décimaux tous équiprobables (information 3,32 bit/s). On obtient deux U différents : 7 pour « face » et 1 pour « 6 » — malgré la même valeur d'information, parce que l'information moyenne (l' « incertitude ») était différente dans les deux situations.

Cette hypothèse est en effet en accord avec les résultats expérimentaux d'Attneave, Noble et Arnoult. Ces psychologues ont démontré que l'homme sans pratique dans ce genre de tâche fournit une estimation trop grande pour les fréquences relativement petites, mais trop petite pour les grandes fréquences, de telle sorte que les fréquences estimées s_i regardées comme fonction des fréquences réelles h_i satisfont une fonction croissante dont la dérivée seconde est négative — au moins dans l'intervalle de h exploré par ces auteurs ($O \leqq h \leqq 27\ \%$). La fonction (34) remplit dans cet intervalle ces conditions et décrit les résultats expérimentaux avec une bonne approximation, mais elle atteint un maximum à $h = 1/e \approx 37\ \%$. Au-delà de cette limite, l'égalité $s_i = a_i$ devient paradoxale, parce qu'elle signifierait que le signe le plus fréquent pourrait apparaître comme moins fréquent qu'un des signes plus rares. Nous avons pu réaliser cet *experimentum crucis* pour notre théorie $s_i = a_i$ (Frank, 1960 *a*, *b* ; 1962 *a*, p. 104-108). La fig. 2 montre que les moyennes des valeurs d'estimation fournies par un groupe d'élèves (x dans la figure 2) sont même plus paradoxaux que ne le prédit la théorie (courbe dans la fig. 2). Mais l'accord avec la théorie devient meilleur (O dans la figure 2), si l'on remplace la mesure logarithmique d'information par le nombre de bits des signes selon un code optimal (arbre d'Huffman dans la figure 2). Il est remarquable que l'ajustement de la théorie soit une fonction décroissante de l'intelligence, de l'âge et de l'exercice de l'élève ! Nous pouvons ajouter que des expériences comparables ont été faites par l'auteur dans le cas où les sujets n'ont pas eu à estimer les fréquences dans les séquences données de signes, mais à les continuer.

Si l'on admet (1) que les sujets perçoivent les signes binaires (O,x) deux à deux (ce qui est rendu probable par la manière de leur exposition), (2) que l' « information » d'une telle paire de signes binaires à partir de laquelle il faut calculer a_i n'est pas le logarithme de l'inverse de sa fréquence relative dans les séquences des stimuli mais le

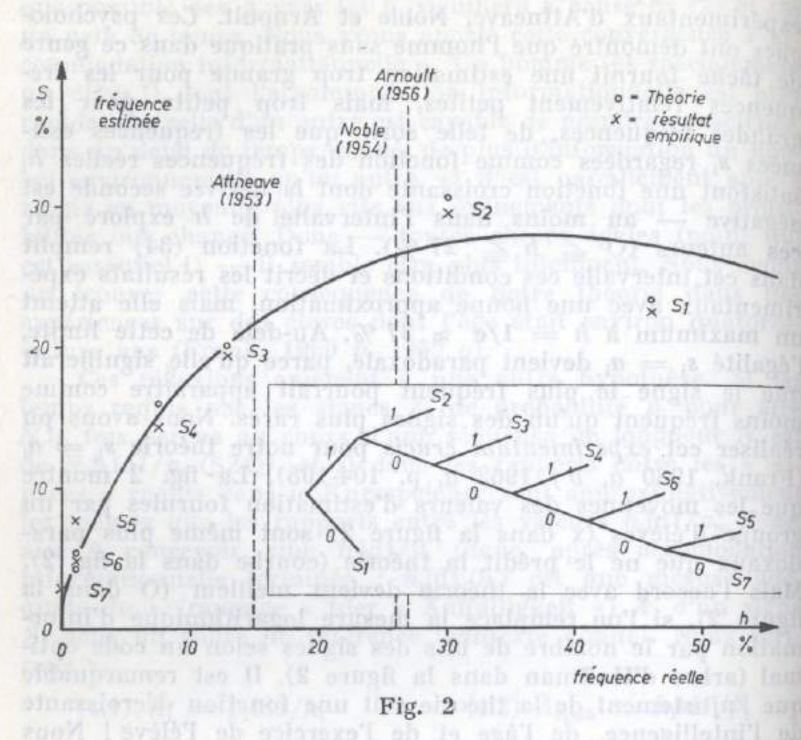


Fig. 2

La paradoxie dans l'estimation (s) des probabilités (h), appelée « l'effet de maximum ».

nombre de bits dans un code optimal (ce qui est rendu probable par l'expérience décrite par la fig. 2), et (3) que les sujets continuent les séquences avec des fréquences proportionnelles aux a_i — alors on peut prédire ces fréquences (fig. 3) et la précision était de 3 % pour la moyenne des séquences produites par des élèves d'environ dix ans. De plus, si les deux signes binaires étaient d'abord équiprobables, le frappage subjectif après changement soudain de la distribution des probabilités est d'abord inégal au frappage objectif (trop grand pour les signes devenus plus probables, trop petit pour les autres !), jusqu'à la fin de l'accommodation informationnelle. Celle-ci saute aux yeux en fig. 3 ! (Pour les détails voir Frank, 1960 *b* ; 1962 *a*, p. 112-118.)

Nous signalons finalement que la notion d'information semble faciliter la description de la mémoire proprement dite (mémoire préconsciente), parce que plusieurs expériences

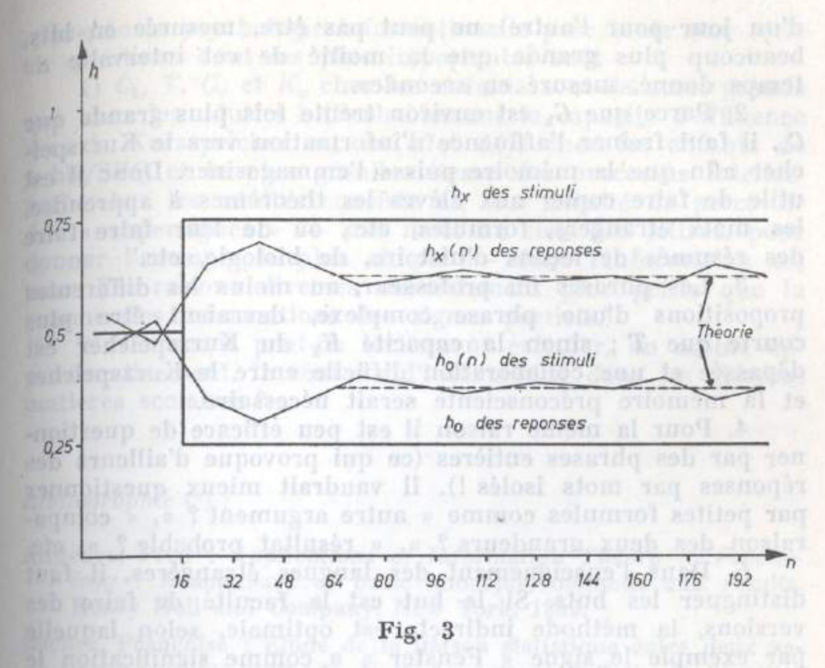


Fig. 3

Les fréquences relatives $h_x(n)$, $h_o(n)$ des signes binaires x, o dans les séquences produites par des sujets peuvent être prédites à partir des fréquences relatives h_x, h_o dans les séquences des stimuli.

différentes (ci-inclus des conclusions tirées à partir des résultats d'Ebbinghaus) ont fourni à peu près la même valeur $C_v = 0{,}7$ bit/s pour la capacité d'affluence vers la mémoire (von Cube, 1960 ; Frank, 1959, 1960 *a*), dont la capacité d'emmagasinage est environ $K_v = 10^6$ à 10^7 bits (Frank, 1962 *a*, p. 102).

3. *Quelques conséquences pour la pédagogie.*

Nous avons essayé dans notre petit livre déjà mentionné de développer plus en détail les idées fondamentales d'une psychologie informationnelle (p. 89-138) et d'en tirer quelques conséquences pour la pédagogie (p. 139-148). Nous citons ici quelques exemples.

1. L'information à apprendre par un élève pendant un intervalle de temps donné (par exemple comme le devoir

d'un jour pour l'autre) ne peut pas être, mesurée en bits, beaucoup plus grande que la moitié de cet intervalle de temps donné, mesuré en secondes.

2. Parce que C_k est environ trente fois plus grande que C_v, il faut freiner l'affluence d'information vers le Kurzspeicher afin que la mémoire puisse l'emmagasiner. Donc il est utile de faire copier aux élèves les théorèmes à apprendre, les mots étrangers, formules, etc., ou de leur faire faire des résumés de leçons d'histoire, de biologie, etc.

3. Les phrases du professeur, au moins les différentes propositions d'une phrase complexe, devraient être plus courte que T ; sinon la capacité K_k du Kurzspeicher est dépassée et une collaboration difficile entre le Kurzspeicher et la mémoire préconsciente serait nécessaire.

4. Pour la même raison il est peu efficace de questionner par des phrases entières (ce qui provoque d'ailleurs des réponses par mots isolés !). Il vaudrait mieux questionner par petites formules comme « autre argument ? », « comparaison des deux grandeurs ? », « résultat probable ? », etc.

5. Dans l'enseignement des langues étrangères, il faut distinguer les buts. Si le but est la faculté de faire des versions, la méthode indirecte est optimale, selon laquelle par exemple le signe « Fenster » a comme signification le mot français « fenêtre », dont la signification est une fenêtre à imaginer, — sans que l'évocation de cette image soit nécessaire pour la traduction. Mais, pour comprendre et parler une langue étrangère, la méthode directe est meilleure, parce que, en ce cas, la signification de « Fenster » est une fenêtre, objet qui est codifié en français par le mot fenêtre, — sans que cette codification doive devenir consciente pour la compréhension du texte allemand. Donc un mot ou une phrase d'une langue étrangère est toujours une codification itérée, donc l'information totale est en première approximation trois fois l'information syntactique ; mais quelquefois on peut renoncer à prendre conscience du dernier degré et faire une économie de temps d'environ 1/3 : le dernier degré est, pour la méthode directe, l'expression dans la langue maternelle, qu'il n'est pas nécessaire de considérer pour la compréhension, — pour la méthode indirecte le sens réel qui peut être presque toujours ignoré par le traducteur comme le prouvent les machines à traduire.

6. Vraisemblablement le temps moyen d'enseignement pourrait être considérablement réduit si les élèves étaient séparés en classes diverses suivant leurs vitesses d'accomodation informationnelle.

Finalement, il faut admettre que l'application pédagogique de la psychologie informationelle pose toute une série de questions dont les plus importantes sont :

1) C_k, T, C_v et K_v chez les enfants sont-ils aussi grands que chez les adultes ? (Probablement la capacité d'affluence vers le Kurzspeicher est en effet déjà chez les enfants de 1 bit/SZQ et la plus grande vitesse des processus intellectuels chez les adultes consiste en leur faculté de percevoir des « supersignes » — des mots au lieu des lettres, pour donner l'exemple le plus simple — dont l'information est pour des raisons diverses normalement plus petite que la somme des informations des signes partiels.)

2) Comment peut-on facilement calculer, au moins approximativement, le contenu d'information dans les diverses matières scolaires ?

Bibliographie (*) :

Attneave, Fred : *Applications of Information Theory to Psychology* : A summary of basic concepts, methods and results. Henry Holl and Company, New York, 1959.

Bacher, Françoise : Etude de la liaison statistique entre deux variables par la méthode de l'information. *Bulletin de l'Institut national d'orientation professionnelle*, XIII, 1, 1957.

Couffignal Louis : *Les notions de base*. Gauthier-Villars, Paris, 1958.

Eichhorn, Gerhard : *Zur Theorie der heuristischen Denkmethoden*. GrKG 2, 1, 1961 (Verlag Schnelle, Quickborn bei Hamburg).

Frank Helmar : *Grundlagenprobleme der Informationsästhetik und erste Anwendung auf die mime pure* (Diss. TH Stuttgart), Verlag Hess, Waibligen, 1959 ; *Ueber Grundlegende Sätze der Informationspsychologie*, GrKG 1, 1, 1960 a. ; *Ueber das Intelligenzproblem in der Informationspsychologie*. GrKG 1, 3, 1960 b. ; *Kybernetische Grundlagen der Pädagogik*, Eine Einführung in die Informationspsychologie. Agis-Verlag, Baden-Baden und Gauthier-Villars, Paris, 1962 a. ; Kybernetik — Wesen und Wertung. In : K. Alsle-ben (Ed.), *Kybernetik und Organisation. Vorträge des 1. Quickborner Symposions* 1962. Verlag Schnelle, Quickborn bei Hamburg, 1962 b. ; Informationspsychologie und Nachrichtentechnik. In : Norbert Wiener and J. P. Schadé (éd.) : Nerve, Brain and Memory Models, Elsevier, Amsterdam, 1963.

(*) L'abréviation « GrKG » signifie le premier journal cybernétique en langue allemande, les *Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft*, Verlag Schnelle, Quickborn/Hamburg.

Quelques résultats théoriques et empiriques concernant l'accommodation informationnelle. *IRE Transactions on Information Theory*, Vol. IT-8, N° 5, 1962, c, p. 150-154.

Hyman Ray : *Stimulus Information as a Determinant of Reaction Time*. Journal of Experimental Psychology, 54, 3, 1953.

Luce R. Duncan (ed.) : *Development in Mathematical Psychology*, The Free Press of Glencoe, Illinois, 1960.

Merkel J. : *Die zeitlichen Verhältnisse der Willenstätigkeit*. Philosophische Studien, Bd. 2, 1885.

Miller G. A., Bruner J. S. et Postman L. : Familiarity of Letter Sequences and Tachistoscopic Identification. *Journal of General Psychology*, 1954.

Moles André Abraham : *Théorie de l'information et perception esthétique*. Flammarion, Paris 1958.

Steinbuch Karl : *Automat und Mensch*. Ueber menschliche und maschinelle Intelligenz. Springer-Verlag, Heidelberg 1961 a. ; *Zwölf Fragen zur Kybernetik*, Studium Generale 14, 10, 1961 b.

Von Cube Felix : *Zur Theorie des mechanischen Lernens*. GrKG, 1960.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Nous remercions beaucoup M. Frank de nous avoir donné bien plus que ce qui était prévu.

La discussion est ouverte.

M. RICHARD.

Je suis d'accord pour dire qu'on peut considérer l'apprentissage comme un problème de transmission de signes, de messages, d'informations. Mais vous aboutissez à dire que la capacité d'emmagasinage du Kurzspeicher est de 160 bits.

M. FRANK.

Au maximum.

M. RICHARD.

Cela me paraît infiniment trop par rapport à ce qu'on connait des capacités de la mémoire immédiate. Je prends le cas des chiffres. Chaque chiffre représente 3,30 bits.

Cela représenterait donc la possibilité de se rappeler immédiatement cinquante chiffres ; or un adulte est capable de se souvenir de six à sept ou huit chiffres lorsqu'il n'est pas entrainé ; si l'on prend des lettres on peut se souvenir de neuf, dix, onze lettres au maximum, ce qui donnerait un nombre de bits légèrement supérieur mais sans commune mesure avec celui que vous avez cité.

D'autre part, si je compare ce que vous avez dit là avec la courbe d'Ebbinghaus, on y voit que pour retenir une information de cent cinquante bits, il faut quelque chose comme 150 ou 200 secondes. Cela montre bien que la capacité du

Kurzspeicher n'est pas de 160 bits, sinon toute l'information serait retenue immédiatement, en une seconde de mémoire immédiate.

Peut-être n'ai-je pas compris ce que vous avez voulu dire, mais il me semble que cette capacité de 160 bits dépasse de beaucoup les capacités que l'on peut observer effectivement dans la mémoire humaine ; la mémoire immédiate, c'est de l'ordre de 7.

M. FRANK.

Beaucoup plus.

M. RICHARD.

Pas beaucoup ; évidemment, si vous prenez une phrase significative, vous retiendrez plus de 7 mais vous ne pouvez plus calculer l'information de la même façon, puisque le nombre de bits ne peut plus se calculer par le nombre d'éventualités, puisqu'il y a une redondance extraordinaire.

Quand on prend des éléments équiprobables, cela semble de 7 à 10. Cela n'a pas beaucoup de signification à ce niveau de parler de bits parce qu'il y a des possibilités de codage dues aux habitudes antérieures.

M. FRANK.

Il y a deux réponses à vous faire.

D'abord vous avez raison, le chiffre de 160 est une borne supérieure, mais, dans beaucoup de cas, on ne peut pas avoir dans la conscience une telle quantité de chiffres, si l'on prend des chiffres binaires, peut-être moins qu'une dizaine.

Pour les chiffres décimaux, on peut peut-être en avoir plus, mais jamais 160 bits.

Toutefois, si l'on procède ainsi, si l'on ne prend pas de chiffres binaires ni décimaux mais des mots stochastiquement indépendants, non pas des phrases ayant une signification, on a quand même un résultat comparable à celui-là. Je n'ai pas présenté la diapositive, mais je puis le faire.

Une des questions les plus urgentes, c'est de déterminer quel est le répertoire minimal pour lequel on peut vraiment atteindre une telle borne supérieure.

Ici (fig. 4) j'ai recueilli les expériences faites par Miller

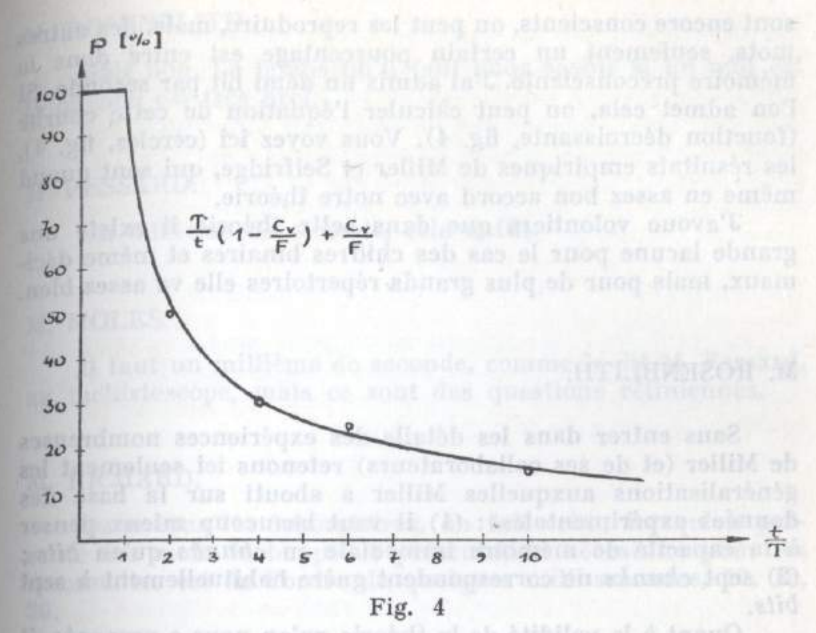


Fig. 4

Si T est la durée de présence (T environ 10 sec.), C_v la capacité d'affluence vers la mémoire préconsciente (C_v environ 0,5 bit/sec.) et F la vitesse de la présentation d'information par des mots tirés par hasard parmi les 30 000 les plus fréquents (F environ 7,5 bit/sec. dans notre exemple), la courbe donne le pourcentage d'information encore emmagasinée dans le Kurzspeicher ou dans la mémoire préconsciente à la fin de la présentation. Les petits cercles sont les résultats expérimentaux de Miller et Selfridge, bien en accord avec la courbe théorique.

et Selfridge, des Américains qui ont donné à des intervalles de deux secondes des séquences de mots tirés de trente mille parmi les plus courants de la langue anglaise. Ils ont utilisé des séquences de dix, vingt, trente, jusqu'à cinquante mots sans relations entre les différents mots.

Tout de suite après l'exposition, les sujets ont dû noter tout ce qu'ils avaient retenu.

Que s'est-il passé ? Si l'on prononce cinq mots ou moins avec une vitesse d'un mot par deux secondes, cela prend jusqu'à dix secondes. Selon notre théorie, $T \leqslant 10$ s., tous peuvent être retenus. Cela donne cette courbe-là. (Ligne horizontale, $p = 100\,\%$.) Si vous avez présenté plus de cinq mots avec la même vitesse, une certaine quantité seulement est encore présente immédiatement après. Si les cinq mots d'avant

sont encore conscients, on peut les reproduire, mais, des autres mots, seulement un certain pourcentage est entré dans la mémoire préconsciente. J'ai admis un demi bit par seconde. Si l'on admet cela, on peut calculer l'équation de cette courbe (fonction décroissante, fig. 4). Vous voyez ici (cercles, fig. 4), les résultats empiriques de Miller et Selfridge, qui sont quand même en assez bon accord avec notre théorie.

J'avoue volontiers que dans cette théorie il existe une grande lacune pour le cas des chiffres binaires et même décimaux, mais pour de plus grands répertoires elle va assez bien.

M. ROSENBLITH.

Sans entrer dans les détails des expériences nombreuses de Miller (et de ses collaborateurs) retenons ici seulement les généralisations auxquelles Miller a abouti sur la base des données expérimentales : (1) il vaut beaucoup mieux penser à la capacité de mémoire immédiate en *chunks* qu'en *bits* ; (2) sept *chunks* ne correspondent guère habituellement à sept *bits*.

Quant à la validité de la théorie qu'on nous a proposée, il faudrait pouvoir traduire chunks en bits avant de juger...

M. FRANK.

Je connais cette théorie.

M. ROSENBLITH.

La capacité de sept chunks, ce sont des faits expérimentaux.

M. FRANK.

Non, pas seulement, mais une généralisation des faits et il faudrait avouer que même cette généralisation ne marche pas toujours bien. Si vous prenez un répertoire binaire, vous avez un bit comme chunk ; si vous prenez des mots, vous avez quinze bits par chunk ; mais il est incontestable qu'on a besoin de plus de temps pour percevoir un mot qu'un chiffre binaire. Ce n'est pas expliqué avec les chunks.

M. ROSENBLITH.

Mais non. Le temps qu'il faut pour savoir si un mot est là ou non est très bref.

M. FESSARD.

Un millième de seconde, cela suffit.

M. MOLES.

Il faut un millième de seconde, comme le dit M. Fessard, au tachistoscope, mais ce sont des questions rétiniennes.

M. RICHARD.

Dans tous les laboratoires, on fait cela ; lorsqu'on présente des mots, le temps de présentation nécessaire pour les reconnaître est de l'ordre de quelques milli-secondes, 10, 15, 20.

M. FRANK.

Le temps d'exposition ne signifie rien parce qu'il n'est pas conforme au temps de prise de conscience.

M. RICHARD.

Le problème du langage est difficile et l'on pourrait prendre un exemple plus simple ; prenons dix lampes disposées horizontalement ou verticalement ; l'allumage d'une de ces lampes produit une information de 3,3 bits. Je suppose que la probabilité qu'une lampe s'allume est la même pour tous les événements et que les deux allumages successifs sont indépendants ; j'ai 3,3 bits pour chaque allumage. Je fais allumer une lampe, une autre, une autre... Il me semble que quand on aura fait une séquence de 6 ou 7 on pourra difficilement se souvenir d'une séquence plus grande. Cela va représenter quelque chose comme 25 bits.

M. VERMEERSCH.

Cela dépend si c'est une série unidimensionnelle.

M. RICHARD.

C'est unidimensionnel. Il me semble qu'une séquence de 7 doit représenter déjà quelque chose qu'on peut peut-être dépasser avec l'apprentissage mais qui représente déjà la mémoire immédiate, avec une vingtaine de bits. Pour arriver à 160 bits, il faudrait une séquence de 50. C'est de l'ordre de 1 à 5.

M. MACKAY.

Je voudrais poser une question pour mieux comprendre la discussion. Est-ce que M. Frank nous dit que bien que le nombre de chunks soit 7 environ, en tout cas il y a un maximum de nombre de bits par chunks ?

M. FRANK.

Non, je n'en suis pas sûr.

M. MACKAY.

Si le nombre de Miller, 7 environ, est constant, votre nombre de 160 à diviser par 7 ou 8 a pour application que l'humain peut recevoir 20 bits par chunk environ.

M. FRANK.

Je ne suis pas tout à fait convaincu que cette théorie des chunks, qui est valable pour des répertoires pas trop grands, soit valable avec des répertoires de plus de dix mille événements ou signes différents, donc, si vous voulez, avec une douzaine de bits par chunk.

Il faut avoir un temps nettement élevé pour s'apercevoir d'un chunk avec plus de 8 ou 10 bits par chunk.

Pour un Chinois, tout signe signifie un mot ; pour nous, toute lettre signifie à peu près un phonème.

Croyez-vous que le Chinois lise avec une vitesse beaucoup plus grande que la nôtre parce qu'il lit un mot pendant que nous lisons une lettre ?

M. COUFFIGNAL.

Il faudrait distinguer la perception des signes ; quand ces signes n'ont aucune répercussion psychologique, qu'ils sont purement des dessins visuels, et quand on fait le décompte des mêmes mots lorsqu'ils ont une signification.

Dans les expériences que j'ai faites en cherchant quelle était la vitesse des opératrices de machines travaillant sur clavier dans les deux cas, lorsqu'elles travaillent sur des chiffres qui n'ont individuellement aucune signification et aucune répercussion psychologique, elles peuvent très difficilement dépasser 7. En général, c'est 5 pour une opératrice normale, adroite, intelligente, que ce soit sur un clavier de machine à écrire ou de machine à calculer.

Par contre si elle enregistre des mots ayant un sens, même si ce sont des mots d'une langue qu'elle sait lire mais dont elle connait mal la signification, par exemple une opératrice sachant un peu d'anglais, elle pourra retenir facilement une phrase de sept ou huit mots. Si elle ne connaît pas la langue elle en retiendra un peu moins. S'il s'agit de français, je n'ai pas fait l'expérience en présentant des mots dans des ordres parfaits, mais si elle travaille sur des mots français elle retient parfois deux lignes entières, tout ce qu'il faut de mots pour représenter une signification cohérente.

Il faudrait donc dans les expériences distinguer entre la perception des idées et l'avoisinement de signes sans signification.

M. RICHARD.

Je suis d'accord avec M. Couffignal quand il distingue le cas des mots significatifs et à plus forte raison des phrases, mais le problème est que lorsqu'on a des mots significatifs on ne peut plus mesurer l'information en bits. Lorsque je parle, cela s'inscrit dans un certain ordre d'idées et ce que je vais dire est très limité ; il y a une redondance, qui est de l'ordre du discours.

Au niveau de l'information sémantique, on ne peut plus raisonnablement parler d'information en termes de bits.

Pour parler de façon rigoureuse en termes de bits, il faut savoir *a priori* quel est chez l'auditeur l'incertitude qu'il y a quant à la phrase que je vais prononcer avant que je la prononce ; non seulement les lettres, mais même les mots ne sont pas indépendants. Dans l'information sémantique, on ne peut pas dire *a priori* quel était chez l'auditeur le domaine d'incertitude parmi tout l'ensemble des combinaisons possibles des signes de la langue pris dans leur ensemble, quelle était l'incertitude qui existait avant que je dise ma phrase et de combien cette zone a été réduite une fois la phrase dite.

Autrement dit, on ne peut pas définir la variable aléatoire

sur laquelle porte l'information ; on ne peut la définir que lorsqu'on connaît la distribution *a priori* de la variable aléatoire ; c'est possible quand on est au niveau de l'information stochastique, de la redondance mais on ne peut plus en parler au niveau de l'information sémantique puisque la fonction de Shannon n'a pas été faite pour cette information sémantique. Quand on parle d'information, il faut savoir si on en parle au sens courant, information sémantique, ou si c'est au sens de Shannon.

Si l'on parle de l'information, au sens courant on n'a pas le droit d'utiliser une mesure en bits, ou bien c'est arbitraire ; quand je reçois un télégramme, je ne peux pas dire *a priori* quelle est ma zone d'incertitude ; ce serait pourtant indispensable pour définir en bits l'information reçue.

M. FRANK.

Je pense que vous ne séparez pas très bien les difficultés pratiques d'un côté et de l'autre le fait que c'est peut-être impossible du point de vue théorique.

Je pense qu'il est pratiquement impossible de calculer les incertitudes lorsque quelqu'un va raconter quelque chose. Néanmoins, il existe des cas où cela va ; par exemple si je demande à quelqu'un quel est son résultat à un examen ; il y a quelques réponses possibles et je puis admettre des probabilités, et je les connais.

Votre deuxième remarque, c'est que Shannon n'a pas donné une théorie de l'information sémantique. C'est connu. C'est pourquoi j'ai voulu essayer de voir comment on pourrait appliquer sa théorie, même pour les phénomènes sémantiques, si l'on utilise la transmission de l'information d'une série d'événements par une série de signes parlant de ces événements.

On peut dire quels signes arrivent et avec cette information il y a une certaine information transmise sur les événements décrits par les signes.

M. ROSENBLITH.

Permettez-moi de faire quelques remarques dans un esprit à la fois amical et critique. J'espère que le Dr Frank ne se méprendra pas sur l'intention avec laquelle ces remarques sont faites, car j'admire beaucoup son courage et son élan. Il faut, hélas, conclure que l'efficacité de la communication entre

scientifiques manque de perfection, surtout quand on essaie de défricher de nouveaux terrains expérimentaux à l'aide de modèles mathématiques. D'où certains malentendus tel que celui ayant trait à la limite inférieure en fréquence de l'ouïe humaine.

Les difficultés redoublent quand on veut établir l'existence d'un « seul » quantum subjectif » de temps. Les données de la psychophysique vont d'environ 20 millisecondes (ordre temporel de 2 stimuli) à plusieurs centaines de millisecondes (intervalle pendant lequel l'énergie est intégrée au seuil absolu). Dans l'encéphalogramme, nous avons l'embarras du choix entre les ondes α, β, δ, etc. Et puis il y a les données relatives aux temps de réaction les expériences sur la mémoire visuelle aux Laboratoires Bell,... Moi aussi, j'aime la simplicité, mais j'ai du mal à avaler comme chiffre quasi-magique un seizième de seconde. L'évidence sur les performances variées du système nerveux dans le domaine temporel ne nous invite guère à mettre tous nos œufs (j'aurais presque dit toutes nos tranches de temps) dans un même panier.

Du quantum subjectif de temps, on est amené à l'hypothèse fondamentale d'après laquelle on apprend un même nombre de bits dans un même intervalle de temps. Cette façon de voir les choses semblait naturelle quand la théorie de l'information est née, mais rares sont les résultats expérimentaux recueillis ces dernières années qui s'interprètent aisément de cette façon-là. C'est plutôt le problème du codage efficace qui est ressorti comme la variable importante au point de vue de l'apprentissage. Ce qui importe, c'est d'avoir un code approprié à la structure du matériel qu'on veut apprendre, de sorte qu'un modèle qui essaye de formuler le problème de l'apprentissage avec trois variables (unités binaires, quotient d'intelligence et temps) peut au moins être critiqué au point de vue omission.

Encore deux points : les expériences récentes d'Estes mettent en évidence des discontinuités frappantes dans l'apprentissage des probabilités. Puisque la plupart des courbes expérimentales et des modèles mathématiques exhibent une allure beaucoup plus graduée, il faut admettre que le comportement des sujets individuels et des populations diffèrent et tirer les conclusions théoriques qui s'imposent.

Finalement, mon collègue, le professeur K. N. Stevens, a conduit des expériences au M. I. T sur les temps de réaction aux phonèmes. Ces expériences ont donné des résultats tout à fait différents si l'expérimentateur demande aux sujets de répéter le son au lieu d'appuyer sur un bouton correspondant au phonème présenté. Pour des ensembles de 2 à 12 (ou 16 ?)

phonèmes, la courbe obtenue a la pente bien connue des temps de réaction avec choix discriminatif quand la réponse est « bouton », mais est sensiblement plate quand on demande une simple répétition du son. D'où la nécessité de se méfier des extrapolations trop généreuses quand on parle d'apprentissage de symboles significatifs et bien codés.

M. FRANK.

Il est très difficile de répondre à tout ce que vous avez dit. Essayons tout de même avec la question du seizième de seconde ; vous avez raison, il existe beaucoup d'autres chiffres pour d'autres événements ; par exemple je pourrais moi-même vous donner d'autres chiffres pour le cas où les sujets n'ont pas eu à dire si une lumière ou un son est apparu le premier mais si par exemple le premier de deux sons est apparu à l'oreille droite ou à l'oreille gauche. En ce cas vous n'avez pas un seizième de seconde mais un quarantième, je crois. Ce qui est intéressant, c'est que ce chiffre d'un seizième de seconde survient toujours si vous avez deux sens différents.

M. LE PRESIDENT.

C'est un problème d'information que vous pourrez résoudre hors séance.

M. FRANK.

Vous avez dit qu'il faut être prudent avec le taux d'information qu'on peut délivrer dans une mémoire préconsciente, parce qu'il dépend de la manière de coder ; vous avez raison ; les sujets eux-mêmes peuvent apprendre, comme on le voit dans les courbes décrivant les résultats de Morin, Forrin et Archer. Mais ces résultats ont montré qu'au cours d'une journée de pratique de huit heures environ, on peut avoir presque parfaitement appris deux signes différents, auxquels la même réaction est exigée, comme deux variations, deux réalisations différentes du même supersigne. Donc le sujet a appris une codification plus efficace. Cela veut dire qu'un chiffre d'un demi-bit par seconde pour la mémoire préconsciente, c'est toujours de l'information subjective, et l'information subjective est en moyenne beaucoup plus grande que l'information objective. Une grande partie de l'apprentissage consiste à apprendre à coder de manière optimale ; sur ce point, je suis tout à fait d'accord avec M. Rosenblith !

M. COUFFIGNAL.

J'ai été très intéressé par ce que vient de nous dire M. Frank. Il y a peut-être une question de temps sur laquelle il faudrait revenir.

En ce qui concerne l'apprentissage au sens large, les seuils d'intégration d'idées nouvelles par les jeunes sont bien connus, ils sont évidents. Il y a des élèves qui font un premier et un deuxième trimestre à un niveau très bas et qui remontent au troisième ; j'ai en mémoire deux exemples spectaculaires, celui d'un jeune homme qui au niveau de la classe de seconde n'a pas pu faire une moyenne de 12 sur les matières scientifiques pour être intégré dans la classe du baccalauréat technique et qui, quatre ans après, était en même temps major de sortie de l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement technique et major de l'agrégation de mathématiques.

La cassure s'est faite dans le bon sens au niveau du milieu de la classe de première.

En sens inverse j'ai eu le cas d'un élève entré major dans la même école et qui n'a jamais pu avoir le C. A. P. E. S.

On le lui a donné dans le cadre du déficit de personnel que nous avons actuellement. Il y a six ans que cela s'est passé et nous envisageons de le mettre dans les mains d'un médecin psychiatre. La cassure s'est faite au niveau de la deuxième année d'école normale ; il a plafonné et il a viré. Les seuils sont donc très nets. Mais il y a peut-être une autre question de temps. Il s'agit là d'apprentissage d'idées et non pas de signes ; je pense que le cas étudié par M. Frank c'est celui de l'apprentissage au niveau le plus élémentaire et le plus primitif, celui où l'on apprend des signes, par exemple du vocabulaire d'usage. J'ai pensé qu'entre les grands seuils, les grands paliers d'apprentissage, ou les périodes de grandes vitesses d'apprentissage, il y a des périodes assez longues dans lesquelles l'apprentissage dans le style des machines à enseigner garde une certaine valeur et est peut-être le plus efficace. Peut-être une théorie très sommaire, mais qui pourrait être élaborée, une théorie basée sur quelques théories de l'information (pas seulement celle de Shannon) pourrait être valable ; (l'unité apportée, le chunk, peut-être, serait plus valable que le bit). Une théorie pourrait peut-être être valable et il vaudrait la peine de l'essayer, d'essayer de l'établir. Je ne

vois pas la chose au point de vue pratique d'une façon plus décisive que cela, mais je crois que des théories de ce genre et leurs applications éventuelles à l'apprentissage peuvent servir entre les paliers de grands changements du psychisme ou de l'intellectualité.

M. MOLES.

Je voudrais faire deux remarques ; d'une part sur ce qu'a dit M. Frank et d'autre part sur la réponse de M. Rosenblith qui nous a fait participer à l'énorme expérience d'un groupe important, celui du M. I. T. ; moi-même je me suis servi de notions de ce genre et je m'en sers encore. Il n'est pas question de réfuter les notions de perception catégorielle, la magie du nombre 7... ; ce sont des choses fondamentales ; nous devons les intégrer dans la théorie d'apprentissage de la connaissance du monde extérieur. Mais je me demande si les arbres ne nous cachent pas un peu la forêt ; par exemple au sujet de ce que citait M. Rosenblith, qu'est-ce qu'on peut appeler le seuil inférieur de fréquence ? Le chiffre de 16 c'est tout à fait vague puisque la courbe est prodigieusement verticale à cet endroit ; c'est le cas de ce qu'on appelle les équations mal déterminées. Que l'on modifie intensité, conditions des expériences, tout est changé ; cependant, dans la vie courante, il y a tout de même l'expérience de centaines d'années sur la façon dont les gens se servent des orgues ou ne s'en servent pas et je ne crois pas que vous puissiez la réfuter ; vous devez concilier le rapport des expériences de laboratoires qui sont précises et sûrement exactes et des règles empiriques mais véridiques. Je suis peut-être trop philosophe mais il me semble que ce point est quand même important à signaler.

Question aussi des rapports des arbres et de la forêt sur le plan pédagogique qui n'a peut-être pas été suffisamment évoquée ; car M. Frank a fortement insisté sur un certain nombre de notions de limitation et sur un certain nombre de mécanismes, en particulier les quantités d'acquisition, alors que probablement les constellations d'attributs (la façon dont s'agglomèrent autour d'un bon codage un certain nombre d'éléments de messages) est un des phénomènes fondamentaux !

Je crois qu'il faut quand même bien estimer (et M. Rosenblith l'a dit) que ce qui est fait pour un individu n'est pas valable pour une population et réciproquement, parce que ce n'est pas de la même chose qu'il s'agit ; dans un cas, il s'agit de savoir comment un individu acquiert un certain nombre d'éléments *nouveaux* ; dans l'autre cas, il s'agit de savoir comment dans une population d'ensemble un certain nombre de gens ont « entonné » un certain nombre de choses et ce qu'il en restait au bout d'un certain temps ; c'est un problème socio-culturel, et non plus de psychologie individuelle.

Les notions évoquées par l'équipe du M. I. T., il n'est pas question de les mettre en doute ; mais en même temps je pense qu'il y a là un clivage et que les éléments auxquels vous faites allusion (combien d'éléments nouveaux un professeur doit donner par jour ou par heure pour que cela soit retenu ?), je crois que le problème pris ainsi avec les idées de débit et de quantité, reste profondément valable, constitue une approche intéressante du problème. J'aurais aimé que M. Frank insistât sur cet angle-là plutôt que sur les notions psycho-physiologique proprement dites sur lesquelles il y a d'autres mécanismes fondamentaux, certaines notions de capacité d'information dans lesquelles j'ai ma petite culpabilité personnelle.

M. COUFFIGNAL.

Cela pose la question importante de l'enseignement de masse ou de sélection. A l'époque actuelle c'est très important. Précisément je crois que l'enseignement de masse vu sous l'angle de la distribution par un entonnoir (et l'image est très exacte), que cette distribution de la connaissance à une masse, en se disant : nous en aurons tant % qui comprendront, je crois que c'est une mauvaise organisation de l'enseignement de masse. J'ai un chiffre en mémoire. Jouhandeau, dans les études qu'il a faites à Genève, nous a dit qu'il y avait, sur trois mille sujets, 5 % des jeunes de onze à dix-huit ans capables d'assimiler un enseignement fondé uniquement sur des symboles. Deux ans plus tard, ici même, sous l'égide de l'O. E. C. E., une réunion de mathématiciens nous a dit que l'enseignement des mathématiques modernes donné à la masse à partir de la classe de seconde serait assimilable par 50 % des élèves.

Jouhandeau jugeait objectivement, mais nos jeunes mathématiciens ont pratiquement imposé que cet enseignement qu'ils savent ne devoir être assimilé que par 50 % des élèves soit tout de même généralisé. Il y a là des positions d'enseignants qui peuvent devenir inquiétantes.

Pour revenir au sujet, l'intérêt que je voyais aux études qui viennent d'être amorcées par M. Frank serait de nous aider, dans un style qui serait peut-être celui de la psycho-

technique, à faire des séparations dans la masse de nos classes, de nos élèves, en nous indiquant ceux qui peuvent aller jusqu'à un certain niveau ou ceux qui peuvent progresser à une certaine vitesse d'acquisition. Je crois que l'enseignement de masse va conduire et presque obliger à chercher à déterminer une vitesse d'acquisition de connaissances nouvelles par les jeunes.

Peut-être des études de ce genre peuvent nous y conduire. Si cette idée entraînait de nouveaux chercheurs, j'en serais très heureux.

M. QUILLET.

Il y a beaucoup à retenir de ce que nous a exposé M. Frank pour des applications pratiques à la pédagogie et les professeurs ici présents repensent leurs expériences personnelles qui portent sur des cas plus contus ou plus complexes, mais on retrouve les thèmes fondamentaux qui ont été développés. Mais je pense à un point qui n'a pas été soulevé, celui de la cadence à laquelle M. Couffignal vient de faire allusion ; cette cadence n'est pas constante ; on ne pourrait parler d'une sorte de vitesse de croisière à quoi parviendrait d'emblée le récepteur. Il y a continuité entre ce qu'on doit appeler la préparation subjective de celui qui reçoit l'information et cette accomodation croissante acquise au cours de la réception ; cette notion d'accomodation pour vous est un peu accessoire peut-être dans vos travaux, mais pour les pédagogues elle est fondamentale.

A condition de partir avec un entonnoir assez large, on peut entasser n'importe quoi dans un temps plus ou moins long ; mon sentiment profond c'est qu'on peut apprendre n'importe quoi à n'importe qui à condition d'avoir assez de temps. En réalité, il n'y a pas de vraie constance, mais une accélération d'une forme donnée quelconque dans la vitesse, dans la cadence à laquelle peut être reçue l'information.

M. FRANK.

Je n'ai pas parlé de « constantes » dans le cas de l'accomodation informationnelle. Cette accomodation est une fonction ; je ne sais pas si elle est une fonction continue ou s'il y a des discontinuités. Les courbes continues sont obtenues en calculant les moyennes d'un groupe. Pour un seul sujet, il faudrait faire plusieurs expériences différentes, mais équivalentes du point de vue statistique.

M. ROSENBLITH.

Je crois que vous avez tous insisté sur la question de la vitesse avec laquelle des élèves pourraient apprendre un sujet. Vous avez tous parlé de l'entonnoir et nous, aux Etats-Unis, nous avons une éducation de masse, je puis l'assurer à M. Couffignal. Les études conduites avec des machines d'apprentissage (*teaching machines*) nous ont montré deux choses :

1) On peut réduire le temps dans lequel une matière, un sujet est appris, considérablement.

2) On peut le faire en permettant à chaque élève de procéder à sa cadence naturelle et c'est encore plus important : je crois que c'est là le point important, parce qu'on peut vraiment voir ce qui est codage optimum pour l'élève individuel, et on peut voir que la façon dont l'élève, le professeur et la machine forment une boucle, déterminent dans une très large mesure le temps pour apprendre un sujet.

M. COUFFIGNAL.

J'ai vu les machines de Skinner.

M. LE PRESIDENT.

Je vais demander maintenant à M. Frank de dire le mot de la fin. Il a été mis en accusation. Je crois qu'il est légitime que le dernier mot lui reste.

M. FRANK.

M. le Président, Mesdames, Messieurs, je ne peux pas et ne veux pas répondre en détails. Plusieurs de vos arguments, je les ai connus et prévus, mais je n'ai pas pu tenir compte dans mon exposé de toutes ces objections possibles.

Pourtant je suis heureux d'avoir trouvé dans vos objections et remarques aussi des idées auxquelles je n'avais jamais pensé. C'est pour moi le résultat le plus favorable de cette conférence.

SIGNIFICATION PHILOSOPHIQUE DE LA NOTION D'INFORMATION

JIRI ZEMAN
Institut de Philosophie de l'Académie des Sciences, Prague.

Président : M. HYPPOLITE

M. LE PRESIDENT.

Mes chers Collègues, nous allons entendre ce matin M. Zeman nous parler de « la signification philosophique de la notion d'information ». Nous demanderons, bien entendu ensuite, puisque M. Zeman parlera allemand dans la discussion, à des traducteurs de bien vouloir traduire le français en allemand et l'allemand en français pour rendre possible la discussion. Puis nous prendrons quelques instants de repos et nous entendrons la communication intitulée : « L'information est-elle objectivable et mathématisable ? »

A 17 h ce soir, il y aura un groupe de travail avec M. Mélèze traitant des problèmes de communication du message par les voies audio-visuelles, puis M. Goüin, dont nous sommes les hôtes, nous recevra à un cocktail, ce qui nous permettra de lui dire combien le site de Royaumont accompagne de façon agréable nos discussions.

Je remercie M. Zeman de s'exprimer en français dans son exposé...

M. ZEMAN.

1. *Le matérialisme, l'idéalisme et la réalité.*

Depuis très longtemps, une lutte est menée dans la philosophie entre deux conceptions — la conception matérialiste et la conception idéaliste. Tous les grands philosophes ont dû réfléchir sur ce problème. Les principes matériel et idéal semblent être incompatibles, ils se rencontrent dans la réalité et

de nombreux philosophes ont essayé en vain de comprendre de façon juste ces principes et de mettre leur contradiction en harmonie. Ainsi Aristote met en opposition deux principes différents : la matière passive, mise en mouvement, et la forme active mouvante qui prête à la matière une forme, son but et sa cause ; même si elles peuvent passer l'une dans l'autre, leur dualisme ne peut passer chez Aristote en une pleine liaison dialectique. Descartes mettait en opposition deux substances : la substance corporelle, étendue, et la substance spirituelle, pensante, qui, selon lui, agissent l'une sur l'autre avant tout dans la pensée humaine, mais malgré cela elles restent nettement séparées. Contrairement aux dualistes, les idéalistes dits « purs » ne tenaient simplement pas compte du matériel et les mécanistes de leur côté ne tenaient pas compte du fait particulier de l'idéal, de la conscience.

Hegel a essayé de résoudre ce problème d'une façon nouvelle. Il concevait la réalité en tant qu'une scission du rationnel et du réel, de la pensée et de l'existence, de l'esprit et du monde, de Dieu et de l'homme ; la liaison entre ces principes se présentait à lui sous l'aspect de l'idée, dont la réalisation s'effectue par la force motrice de la négation et mène à l'évolution d'un terme à l'autre jusqu'à l'idée absolue. Il a converti la réalité en logique et l'action dans le temps en motivation rationnelle. Il a essayé de surmonter définitivement la contradiction de la réalité, découlant, selon lui, de l'extériorisation, de l'objectivisation et de l'aliénation de l'idée à elle-même, par le retour à l'idée absolue, effectué par l'homme pensant qui transforme progressivement le monde par son activité en son œuvre. Mais cette activité est chez Hegel seulement rationnelle, spéculative, il ne s'agit pas d'une action véritable, d'un acte réel, d'une transformation effective du monde. C'est Marx qui a effectué cette conversion de Hegel ; selon Marx, l'unité du sujet et de l'objet, de la pensée et de l'existence s'effectue non pas en l'idée, mais dans la pratique sociale et dans le travail qui réalisent la propre histoire et en font de plus en plus l'œuvre des hommes. La contradiction entre la réalité et l'idée se résout par l'acte. Le mouvement dans l'objet se convertit en mouvement dans le sujet (la pensée), et cela conduit au mouvement vis-à-vis de l'objet (la pratique) ; la pensée est une action intérieure qui peut s'intensifier en une action extérieure dans la réalisation de l'idée par la pratique. Les formes suprêmes du mouvement — la pensée humaine et la pratique sociale — comprennent et surpassent toutes les formes inférieures. Ce monisme du matérialisme dialectique conserve la particularité de l'aspect matériel et idéal de la matière et de la conscience humaine et en même

temps il marque leur caractère unique. Le matérialisme dialectique englobe toute l'unité de la réalité entière et l'exprime tout en utilisant toutes les nouvelles notions importantes des sciences spécialisées. Cet effort est favorisé également par le terme cybernétique de l'information qui est en accord avec tous les principes de la dialectique et permet également l'expression mathématique.

2. *L'information et l'ordre.*

Le mot latin *informare,* dont est surgi le mot l'information, signifie mettre en forme, donner une forme ou un aspect, former, créer, mais aussi représenter, présenter, créer une idée ou une notion. Il est possible de comprendre l'information en général comme quelque chose qui est mis en forme, qui est mis en ordre. L'information signifie la mise de quelques éléments ou parties — soit matérielles, soit non matérielles — en quelque forme, en quelque système classé — cela signifie la classification de quelque chose. Sous cette forme générale, l'information est aussi bien la classification de symboles et de leurs relations dans un rapport, que l'organisation des organes et des fonctions d'un être vivant ou l'organisation d'un système social quelconque ou de toute autre communauté en général. L'information exprime l'organisation d'un système pouvant être décrite mathématiquement. Elle ne s'occupe pas de la matière de ce système, mais de sa forme qui peut être la même pour des matières très différentes (des taches noires de caractères sur du papier, des neurones dans le cerveau, des fourmis dans une fourmillière, etc.). L'expression de l'information d'un système a pour base, comme on le sait, la formule mathématique de l'entropie négative. De cette façon il est possible d'exprimer avec Boltzmann la mesure de l'organisation des molécules dans un récipient contenant un liquide ou un gaz, avec Shannon la mesure de l'organisation d'un message, avec Bertalanffy la mesure de l'organisation d'un organisme vivant. Cette entropie négative peut apparemment exprimer également la mesure de l'ordre d'un système nerveux (par exemple la capacité d'idées d'un cerveau, le caractère d'un réseau de neurones, l'équilibre psychique d'une personnalité) ou d'un système social (l'équilibre d'un système social ou économique).

Nous estimons que l'information n'est pas un terme purement mathématique, mais également philosophique, qu'il n'est pas lié seulement à la quantité, mais également à la qualité qui, d'ailleurs, sont en connexion. Ce n'est donc pas seulement une mesure de l'organisation, mais également l'organisation même liée au principe de l'ordre, c'est-à-dire l'organisé — en tant que résultat, l'organisant — en tant que facteur réalisateur, et l'organisation — en tant que processus. L'information est donc la qualité de la réalité matérielle d'être organisé (ce qui représente également la qualité de conserver cet état organisé) et sa capacité d'organiser, de classer en système, de créer (ce qui constitue également la capacité d'accroître l'organisation). C'est, à côté de l'espace, du temps et du mouvement, une autre forme fondamentale de l'existence de la matière — c'est la qualité de l'évolution, la capacité d'atteindre des qualités supérieures. Ce n'est pas un principe qui existerait en dehors de la matière et outre la matière (comme sont par exemple le principe idéaliste de l'entité ou le terme de « l'entéléchie »), il est inhérent à elle et inséparable d'elle. Sans organisation, sans conservation et accroissement de l'organisation, la matière ne pourrait pas du tout exister, de même qu'elle n'existe pas sans l'espace, le temps et le mouvement. Un certain objet matériel détermine ses qualités concernant l'espace, le temps et le mouvement, mais également les qualités de son organisation, sa qualité qui se manifeste en tant qu'entropie négative, en tant qu'information. Si la masse est la mesure des effets de gravitation et de force d'inertie et l'énergie la mesure du mouvement, l'information est dans le sens quantitatif la mesure de l'organisation de l'objet matériel. Il est évident qu'avec la caractéristique de l'organisation est liée non seulement la matière, mais également ses caractéristiques relatives à l'espace, au temps et au mouvement. La matière, l'espace, le temps, le mouvement et l'organisation sont en connexion mutuelle.

La matière possède une gamme unique, ininterrompue de ses formes et mouvements — à partir des qualités les plus simples jusqu'aux plus complexes, à partir des formes moins organisées jusqu'aux formes hautement organisées (la molécule — l'être vivant — la société ; les processus des mouvements physiques — chimiques — biologiques — sociaux). Elle a un caractère monistique. Nous ne pouvons pas renoncer à la possibilité d'exprimer son aspect qualitatif par les moyens mathématiques que nous offre la théorie de l'information. Celle-ci n'est bien sûr qu'à son début et exige la coopération de nombreuses branches scientifiques. Mais l'importance générale du terme de l'information pour l'approfondissement de l'idée du monisme matérialiste est évidente.

La dialectique ne sépare pas rigoureusement le substrat et les qualités, la substance et l'aspect, la matière et la forme. Le contenu qualitatif de chaque chose est lié à sa forme, sa

substance est liée aux qualités de son action ; également l'objet et son image (le message, le rapport le concernant) sont en liaison mutuelle. Mais en même temps ils diffèrent, ils ne sont pas identiques. Mais la dialectique présuppose que dans la réalité même le substrat n'est pas séparé de ses qualités, la matière de la forme, l'espace du temps, etc. La division gnoséologique nécessaire en sujet et objet et en d'autres contradictions s'apaise proportionnellement à l'accroissement du pouvoir de la société humaine et de sa connaissance, même si elle ne peut être complètement éliminée. La connaissance évolue asymptotiquement vers la perception de la vérité absolue sur la réalité objective qui est située à l'infini. La chose en tant que telle, que nous percevons sous forme de son aspect, devient une chose pour nous, si nous sommes capables de la maîtriser et de la changer. La pratique brise les barrages entre le sujet et l'objet et aussi entre l'aspect et la substance. Les qualités de matière et d'énergie d'un objet appartiennent-elles également à son organisation ? Nous estimons qu'il n'est pas possible de comprendre l'organisation seulement en tant que forme et structure qui seraient rigoureusement séparées de la matière et de la dynamique, éventuellement qui en seraient indépendantes. Naturellement si je réfléchis à l'organisation de quelque chose, je ne comprends pas cette chose directement dans le volume du terme de cette organisation donnée (par exemple une statue en tant que terre formée). Mais cette division gnoséologique qui nous est propre et ces difficultés de métalangage de l'observateur sont-elles valables également pour la réalité matérielle en tant que telle ? L'information ne concerne pas seulement la gnoséologie, mais également l'ontologie, elle ne concerne pas seulement la notion de quelque chose, mais également cette chose même.

Le mécanisme qui réduirait l'information à la matière sans voir sa particularité, l'idéalisme subjectif qui comprendrait l'information en tant que simple forme ou aspect, et l'idéalisme objectif qui verrait en l'information un principe particulier indépendant de la matière, tout cela, ce sont des conceptions unilatérales de la question. La réalité est plus riche que ne la voient ces courants, et également le terme de l'information est plus riche qu'ils ne le comprennent.

3. *L'information, le reflet et le temps.*

L'information qui est en liaison avec l'organisation, est également en liaison avec la conservation et la transmission de cette organisation. Le principe de la transmission et de la conservation de l'organisation est bien saisi par le terme du matérialisme dialectique — le reflet. Par le processus du reflet changent le cerveau du sujet, l'expérience et l'hérédité. Le signal reçu par le récepteur des sens se transforme en forme physiologique de l'information conservée dans la mémoire, ainsi il devient une partie de l'expérience individuelle et peut parfois influencer également l'expérience génétique, l'hérédité (l'influence du reflet du milieu sur l'organisme). Ainsi, sur la base du processus du reflet, la nature s'imprime de plus en plus profondément dans l'organisme. Ici apparaît également la liaison de l'aspect gnoséologique et ontologique de l'information : les nouvelles s'impriment dans l'organisme et peuvent conduire au changement de son organisation. Cela est le plus évident pour les perceptions dites « proprioceptives » — pour les informations du toucher et du goût, où se produit un contact immédiat de l'objet et du sujet. Le transport de l'information visuelle est plus indépendant, bien que pas entièrement, de la matière que le transport de l'information par le toucher, où se produisent les transformations de la matière du corps, et celui-ci est à son tour moins matériel que le transport de la nourriture ou de l'information héréditaire lors de la fécondation.

La conservation de l'information se fait d'une façon économe, sans trop grand nombre d'éléments inutiles, « redondants », auxquels appartient également une grande étendue, le poids, etc. Un événement ou un objet d'une grande ampleur de temps et d'espace sont enregistrés considérablement réduits, sous une forme condensée, générale ou même symbolique. Sur ce principe est basé chaque inventaire, liste, catalogue, enregistrement de mémoire dans le cerveau, enregistrement dans la matière héréditaire, etc. L'information est conservée avec une condensation maximum sous forme, pour ainsi dire, d'une « essence » et peut avoir lors de son utilisation l'effet de renforcement ; elle a d'habitude l'effet de déclencheur, catalytique, ou sert d'instruction, de programme, de mode d'emploi. L'influence du photon sur la rétine, du spermatozoïde dans l'utérus de la femelle, l'effet des caractères sur le cerveau du lecteur, l'influence d'une idée dans la société, l'action de presser le bouton de la machine à calculer — tout cela ce sont des exemples d'un effet de renforcement.

La réénergisation de l'information déposée signifie le virement d'une information potentielle (« morte ») en une information actuelle (« vivante »). Ainsi dans un livre est déposée l'information potentielle qui est actualisée par le lecteur. Dans la mémoire se trouve l'information potentielle

qui est actualisée par certains processus physiologiques dans la conscience. La cellule embryonnaire contient l'information potentielle qui se développe en l'organisation de l'organisme en développement. Dans la machine, certaines combinaisons possibles sont données d'avance par le constructeur et elles s'actualisent lors du calcul nécessaire. Il semble que l'information actuelle, dans la mesure où elle n'est pas de caractère purement mécanique, peut signifier dans un certain cadre quelque chose de relativement nouveau. Ainsi la machine à calculer crée cette chose relativement nouvelle, en donnant un résultat plus rapide et aide ainsi l'homme qui n'y parviendrait pas aussi rapidement. Ce « relativement nouveau » est constitué par chaque être vivant qui naît dans la nature. Egalement l'effet d'un certain livre sur différents lecteurs conduit à quelque chose de relativement nouveau. L'information potentielle même, sans actualisation, n'aurait aucun sens : un texte sans lecteur connaissant son code n'est objectivement qu'un ensemble de taches noires sur le papier, les courants vitaux des serrements de mains qui constituent une information actuelle pour les amants, apparaissent objectivement comme une série quelconque insensée de convulsions, et de même la machine perd son sens sans l'utilisation par l'homme, ou encore la cellule héréditaire qui ne se développe pas en organisme.

Le reflet de l'information est lié à la question du temps et de la densité d'information et par conséquent également à la question de la redondance.

Le processus d'acquisition de l'information est lié au temps. Dans chaque situation particulière il est possible d'acquérir durant un certain temps seulement une quantité maximum limitée d'information. Il est donc évident que la conservation d'une certaine information signifie une économie de temps qui ne doit plus être à nouveau sacrifié pour acquérir cette information. L'évolution est permise par le fait que l'entropie négative reflétée se conserve et qu'une nouvelle s'acquiert, ou autrement dit, que l'entropie négative s'accroît. Un système plus organisé est caractérisé par une plus grande densité d'information. Dans un texte possédant le même nombre de symboles il peut y avoir une densité d'information différente (à comparer par exemple un article populaire et spécialisé traitant un thème quelconque). Si un lecteur moins instruit doit saisir l'information d'un article, cet article doit avoir une plus grande redondance vis-à-vis du symbole, ce qui veut dire une moindre densité d'information. Les réservateurs efficaces d'information doivent avoir une grande densité d'information (la cellule embryonnaire, l'encyclopédie, etc.). La mémoire de n'importe quelle espèce est basée sur la limitation des éléments de redondance — c'est-à-dire elle conserve seulement l'essentiel, les traits généraux. La connaissance sociale ne conserve que ce qui est le plus important de l'information atteinte par les siècles passés (par exemple l'héritage de la civilisation antique qui a duré plusieurs siècles). Un étudiant de l'école supérieure acquiert au cours de quelques années l'information acquise par la société durant des siècles. Un être vivant traverse selon la loi biogénétique dans son évolution ontogénétique de vastes stades de phylogénèse. Entre l'accroissement de l'information (négentropie) et l'accroissement du temps il existe un certain rapport. L'acquisition de l'information par un particulier dans le processus de l'enseignement et dans son évolution en général se ralentit relativement avec le temps, jusqu'à s'arrêter entièrement (la courbe d'Ebbinghaus marquant la capacité d'apprendre par cœur). De même la croissance de l'organisme et la vitesse de guérison des blessures ralentissent (la courbe de Backman de la croissance, la courbe de Nouy de la guérison). L'embryon répète dans son évolution des stades de plus en plus courts de phylogénèse. Tandis que la négentropie diminue avec la dégradation, dans l'évolution son degré doit non seulement se conserver, mais même s'accroître. Dans l'évolution de la société on voit s'accroître son organisation et sa connaissance. La question se pose, si la quantité totale de l'information augmente de telle façon que l'accroissement ultérieur de l'information est toujours plus petit (un ralentissement) ou toujours plus grand (une accélération). Nous ne voulons et ne pouvons pas décider ici qui est l'Achille et qui la tortue, c'est-à-dire à qui répond la gamme géométrique, si c'est à l'homme ou au temps, ou quel est ici le rapport entre eux. Mais la question est certainement intéressante.

A ces problèmes se rattache également le terme de Brillouin de l'information absolue et distribuée (partagée). Le génotype du parent, les connaissances de l'instituteur, l'information dans le manuscrit de l'auteur — voici des exemples de l'information absolue qui peut se multiplier sous forme d'information distribuée (la quantité de cellules embryonnaires d'un seul parent, la transmission de l'information de l'instituteur à de nombreux élèves, la quantité de copies de l'original d'un journal ou d'un livre, la diffusion des informations par la radio, etc.). L'information absolue ne s'accroît ni ne se perd par cela, mais l'information divisée peut s'accroître. Evidemment il exise ici un autre principe de la conservation et de la perte que pour l'énergie, c'est-à-

dire l'information n'est pas additive, les lois mathématiques qui comptent pour elle sont un peu différentes de celle de $1 + 1 = 2$ et $1 - 1 = 0$. L'information absolue peut être plus ou moins stable. Si elle concerne des facteurs non stables (indications météorologiques, informations politiques, bourse), sa valeur ne dure que peu de temps, puis l'information vieillit, elle perd sa valeur de nouveauté, d'originalité. Mais elle peut aussi avoir un caractère relativement stable, elle ne doit pas dégrader (les lois scientifiques découvertes, les faits historiques). Brillouin dit que ce qui peut être détruit, cela doit être une sorte d'entropie négative. L'usure ou la destruction d'une machine sont certainement des processus de dégradation. De même la mort d'un grand savant ou la destruction de l'original d'un enregistrement important d'une information représentent une perte pour la société. La création de valeurs matérielles et spirituelles (la production, le travail d'art et scientifique) est liée au temps. Il serait peut-être possible d'exprimer l'information de ces valeurs en dépendance de lui. La machine, le barrage, le cerveau ne sont pas en contradiction avec le deuxième principe de la thermodynamique, mais ils peuvent ralentir, freiner la dégradation de l'énergie, donc ils sont liés à l'économie du temps.

4. *Le courant de l'information.*

L'information n'existe pas hors du temps, hors du processus : elle diminue, elle s'accroît, elle se transporte, elle se conserve dans le temps. Afin que nous puissions en tout en délibérer, il faut qu'il existe une différence quelconque de deux niveaux, quel que soit leur caractère. Egalement la thermodynamique et ses termes de l'entropie et de la pente partent d'une telle différence. En exerçant un travail physique on surmonte une certaine résistance par une certaine force durant un certain temps (le déplacement de fardeaux, l'accélération du mouvement d'un corps, etc.), ce qui peut être exprimé exactement par des unités de mesure. Pareillement le transport, la création, le changement de l'information dépendent de la différence de l'information de deux niveaux (désignés d'habitude par les termes de source et de destinataire), du bruit (la résistance qui s'oppose au processus de l'égalisation de la différence de niveau) et du temps. Par exemple en lisant, lorsqu'un lecteur reçoit une information qui lui était inconnue, il existe là une différence quelconque de deux niveaux d'information ; la résistance qui s'oppose à leur égalisation dépend de la difficulté de la matière, de

la capacité d'assimilation du lecteur, mais aussi de la clarté de la salle de lecture, etc., et elle est une fonction du temps ; par exemple l'élève dans une certaine classe peut s'assimiler une certaine matière au cours d'un certain temps minimum nécessaire. Les lois y sont similaires à celles de la chute de l'eau, de la chaleur ou du courant électrique, où se font valoir les termes comme l'énergie potentielle, la charge, la tension, la résistance, la dynamique, etc. Le rapport entre les niveaux d'information du destinataire et de la source est décisif pour déterminer le courant d'information, de même que par exemple la capacité du canal de communication du destinataire. Lors de leur nivellement aucune information n'est transmise. La rapidité du courant d'information et la capacité du canal d'information sont en liaison avec la question de la redondance. Une petite capacité du canal est liée à une haute redondance et à la diminution de la rapidité du courant d'information.

La résistance dynamique caractérise tous les processus d'information — la pensée, le comportement, etc. La lecture représente l'action de surmonter cette résistance, de même que la solution rationnelle d'un problème, l'action de surmonter quelque obstacle, la satisfaction de quelque besoin, la liquidation de quelque insuffisance. La résistance conditionne également le processus de l'évolution. Aucune phrase (sentence) ne serait exprimée, s'il n'y avait pas de question — même non formulée — à laquelle on répond, ou si un besoin ne surgissait pas, auquel elle réagit. Aussi n'importe quel acte est une réaction à quelque tâche confiée — même si inconsciemment, il constitue le remplissement d'un schéma anticipé.

A l'aide de la pente d'information qui surmonte quelque résistance, désignée par le bruit, et qui mène à l'égalisation, il est possible d'exprimer toutes les activités d'un individu (le comportement, les processus de la fantaisie, les problèmes de l'équilibre spirituel, la pensée, etc.) et les activités de la société (la production, les créations culturelles, etc.). En même temps, le degré de la redondance exprime la valeur des résultats de ces activités en tant que leur densité d'information.

5. *L'information et la connaissance.*

Chaque système a une certaine variété d'information (une diversité de ses éléments, états, rapports). Lors du processus de la connaissance, le sujet humain reflète la variété d'un

objet non pas entièrement, mais il en choisit seulement quelque chose, c'est-à-dire il la limite. La limitation de la variété signifie une certaine liaison plus étroite entre quelques éléments, ce qui permet les processus de prévision, de l'enseignement (de la mémoire), de la perception de la forme, etc. Non seulement l'objet (éventuellement toute la réalité objective), mais aussi le sujet constituent le champ d'information avec une certaine variété. Au cours du processus de la connaissance on voit se produire une transformation progressive des champs d'information : la variété de l'objet se transpose en un code de quelques signes de communication, ceux-ci se transforment selon le récepteur donné (par exemple la rétine de l'œil), de là la perception est transférée par les fibres de nerfs dans le cerveau, où change la variété du champ cérébral, c'est-à-dire du champ de sensation du réseau des neurones. La connaissance consciente de la perception est une limitation de la variété (par la macro-expression), de la variété complexe des microprocessus de la matière cérébrale. La variété du champ d'excitation est limitée sur la base du principe de la dominante : les faibles foyers sont étouffés, les forts foyers sont renforcés, il se crée une division de l'ensemble du champ d'information en la partie minimisée et la partie relativement excitée au maximum. Seules les parties du cerveau excitées optimalement ont droit à passer le seuil de la conscience. Et là de nouveau se produit une division du champ de la conscience (par exemple le centre et la périphérie de l'attention, la figure et l'arrière-plan de la perception ; le même phénomène peut être observé dans la pensée et dans les autres processus psychiques). L'information maximale que peut porter le champ conscient donné, est donnée par l'addition de l'information actuelle, pleinement et clairement perçue, et de l'information faiblement perçue jusqu'à l'information inconsciente (à comparer par exemple l'objet pleinement perçu et les détails ou l'entourage perçus de façon périphérique). Du point de vue de la physiologie, la quantité totale de l'énergie excitatrice se divise en la partie effective qui porte dans les parties cérébrales, excitées de façon optimale, l'information pleinement consciente, actuelle, et en la partie non effective qui ne la porte pas. Le champ de la perception passe en le champ de la pensée et cela peut se transformer en le champ d'un certain comportement (action), qui conduit à son tour au changement du champ d'information de l'objet.

L'objet est plus riche que son reflet. Ce fait signifie donc le côté négatif que l'évolution de la connaissance est en train de limiter successivement en percevant sans cesse

des détails plus fins. Mais cela a également des côtés positifs — la connaissance choisit parmi la quantité seulement l'essentiel, les aspects importants, autrement elle serait chaotique. Ce caractère du reflet gnoséologique permet de renforcer certains aspects et traits et ainsi sont créées des formes qui sont en réalité également une information nouvelle et peuvent être à leur tour reflétées dans la réalité objective ou réalisées en elle. Le sujet humain non seulement choisit passivement l'information, mais il relie les éléments analysés en des formations nouvelles. C'est pourquoi l'artiste peut voir, dans les formes indéterminées et variées des nuages, certaines figures et c'est pourquoi le savant peut créer, sur la base du matériel étudié, une nouvelle idée.

L'activité du sujet humain signifie en réalité la possibilité de retourner le sens de la thermodynamique, du cours de l'information. Normalement l'information coule de l'objet vers le sujet et la quantité de l'information diminue au cours de cela. Mais lors d'un acte créateur de la fantaisie, de la pensée et de la pratique, il y a du côté du sujet plus d'information certaine que du côté de l'objet, le sujet la transporte sur l'objet et lui imprime une nouvelle face. Lors du transfert d'une nouvelle, il revient toujours en moyenne à un élément de signe une certaine quantité d'information ; s'il existe de la redondance cette quantité est moindre ; dans un canal sans bruit, la densité d'information d'un élément de signe est optimale et la redondance est égale à zéro. Avec la capacité créatrice, le sujet ne doit pas accepter toute l'information, mais il la complète sur la base de quelques éléments peu nombreux de signes de cette information, de sorte que la redondance de ce fragment de l'information est, en comparaison avec toute l'information, inférieure à zéro — donc négative. La redondance négative est caractéristique de la création du sujet percevant et agissant et de la possibilité de prédiction.

6. *L'information et la société.*

L'évolution de la société humaine est liée à un certain revirement progressif du sens de la thermodynamique. A l'origine l'homme est entièrement dépendant de la nature, il est victime de ses caprices et du principe de l'accroissement de l'entropie. Mais par le fait qu'il commence à créer dans son activité de pensée et de travail, il commence à retourner le sens de la thermodynamique : il commence à être luimême la source de l'information, de l'entropie négative, de

l'ordre. Il améliore successivement son organisation sociale, il perfectionne la production, il invente des codes d'information plus parfaits d'écritures et d'autres systèmes de signes, il crée des moyens de communication rapide et de masse des messages. Il transforme de plus en plus profondément la nature, il la change en son œuvre, il l'humanise. Il apprend à convertir de mieux en mieux ses idées et ses désirs en pratique, à les actualiser. L'organisation de la société et la quantité et la densité de l'information sociale s'intensifient. Aujourd'hui que la société dispose d'une conception scientifique du monde, il est possible de diriger ce processus consciemment et intentionnellement.

Il serait possible aujourd'hui, à l'aide de moyens modernes de la mathématique, de la cybernétique, de la théorie de l'information et des méthodes du matérialisme historique, d'analyser la société en tant qu'un système, organisé d'une certaine façon, et qui se développe. Il serait possible d'établir exactement, quels sont aujourd'hui les besoins de la société et les possibilités de les satisfaire, quelle est la capacité et la tendance de l'évolution de la pratique sociale et de la connaissance sociale. De même qu'il existe un certain rapport entre le travail physique et l'information, il existe également un certain rapport entre le travail social et l'information sociale, c'est-à-dire la pensée de la société, la conscience de la société. La conscience sociale est le reflet de l'existence sociale, du mode social de la production qui agit de son côté sur cette existence. Tandis que le travail dépose la negentropie dans les produits, la connaissance dépose la negentropie dans le dépôt de l'expérience sociale. Souvent nous sommes témoins de ce que, dans la société, les biens matériels et spirituels ne sont pas bien utilisés et sont gaspillés. Socialement « absurdes » sont les crises de la surproduction et les guerres agressives, mais aussi la répétition inutile d'une recherche scientifique dans différents pays et institutions, le manque de centralisation, la production démesurée de livres, contenant des choses non essentielles ou qui se répètent, les conflits inutiles des gens, découlant de malentendus, d'une mauvaise communication. A l'époque nouvelle, le développement immense des forces productrices, de la nouvelle organisation sociale des rapports de production et de la connaissance humaine, offre la possibilité d'atteindre un haut degré de l'organisation sociale. L'évolution sociale est liée entre autres également au problème du temps et de l'élimination de ce qui est inutile dans l'information et l'organisation. Beaucoup de désordre pourrait être éliminé également par une coopération profonde des

savants des différents pays et des différentes branches, par la création d'une organisation mondiale de la science et par une recherche scientifique mondiale planifiée.

Tout cela n'est pas seulement un problème purement technique et mathématique, c'est aussi un problème économique et également un problème politique et moral. Celui qui a de bonnes intentions et lutte pour leur réalisation, voit qu'il est possible dans le monde entier de réaliser les besoins humains raisonnables, dépourvus d'excentricités exagérées et nocives, que les hommes honnêtes sont bien plus nombreux que ceux qui ne veulent pas renoncer à leurs prétentions égoïstes et aux méthodes d'oppresseurs, et qu'il est donc nécessaire de vaincre ces tendances nocives pour l'organisme social. La diffusion et l'application pratique des termes du marxisme et des termes de la cybernétique conduisent ce processus vers son but. Le terme de l'information, tel que le comprend le matérialisme dialectique, a une très large importance pour toute la connaissance humaine.

DISCUSSION (*)

M. LE PRESIDENT.

Je vous remercie.

Mesdames, Messieurs, nous remercions beaucoup M. Zeman de l'effort qu'il a fait de lire en français son propre travail.

Je pense qu'un président doit être impartial, et j'espère que ce que je vais dire le sera. C'est un véritable système de métaphysique que nous propose M. Zeman, dans lequel le vieux problème du rapport de la forme et de la matière se trouve résolu.

Il n'y a pas à opposer la masse, l'énergie, l'information ; ce sont des moments successifs d'une dialectique, et le concept d'information tel qu'il est utilisé aujourd'hui est un moyen de justifier cette métaphysique ; je ne crois pas du tout être infidèle à ce qu'a dit M. Zeman en disant cela.

Il me semble qu'il y a dans l'œuvre cybernétique de M. Wiener un chapitre qui s'appelle : temps newtonien, et temps bergsonien.

Ce matérialiste historique qu'est M. Zeman s'étonnera peut-être d'employer des formules qui se trouvent dans l'*Evolution Créatrice* quand il s'agit d'éviter la chute inexorable, la croissance de l'entropie et de montrer comment l'homme, par l'intermédiaire de la société et de l'organisation scientifique, arrive, en retardant la croissance de l'entropie, non seulement à conserver mais à accroître l'entropie négative et à apporter une information nouvelle.

Il y a beaucoup d'optimisme, et nous l'en remercions, dans les espoirs que M. Zeman met dans les possibilités d'une organisation générale de l'information humaine permettant de retarder le plus longtemps possible la chute inexorable à laquelle est condamné l'Univers.

(*) Les réponses de M. Zeman, dans le texte de la discussion, ne sont pas notées précisément et complètement, car M. Zeman a parlé allemand.

Ce sur quoi je voulais insister, c'est que c'est un véritable système métaphysique d'ontologie et pas seulement de gnoséologie qui nous a été présenté, le concept d'information s'intégrant à ce système.

Je crois avoir dégagé les lignes d'une métaphysique pour la discussion. Ne craignez pas, cependant, d'attaquer le Président en disant qu'il a trahi l'exposé.

M. JUTIER.

Il me semble qu'il y a un *a priori* qui me paraît essentiel. « Sans organisation, sans conservation et accroissement de l'organisation... la matière ne pourrait pas du tout exister, de même qu'elle n'existe pas sans l'espace, le temps et le mouvement. » *A priori,* c'est l'hypothèse que l'espace, le temps et le mouvement sont des absolus comme la matière ; c'est un point qu'on pourrait discuter.

M. LE PRESIDENT.

En tout cas, vous ne condamnez pas l'effort de résumé que j'ai donné.

M. JUTIER.

Absolument pas ; c'est une métaphysique qui pose que la matière, l'espace et le mouvement sont inséparables.

M. WIENER.

Je ne suis pas sûr qu'il y ait une relation entre les choses que je vais dire et celles que M. Zeman a déjà dites. Mais je m'intéresse beaucoup depuis le commencement de la cybernétique aux conséquences sociologiques de celle-ci. Et je pense que vous en parlez aussi.

Depuis le commencement, j'ai voulu considérer le système social aussi bien que le système mécanique ou celui de l'individu, et j'ai toujours rencontré une difficulté qui me semble être la même que celle dont il a été parlé : dans les choses sociales, dans les applications sociales, nous sommes devant des machines qui changent très rapidement,

et il est difficile de trouver une solution mathématique très haute ; c'est-à-dire que les règles et le développement de l'industrie, la signification des observations, changent très souvent, alors que, pour l'analyse des phénomènes cybernétiques, on doit avoir, pour atteindre à une solution très haute, une constance de la dynamique dans le temps. Pour faire l'analyse cybernétique des phénomènes humains ou des phénomènes arbitraires, il faut que l'on ait des suites assez longues, sous les mêmes conditions, avec les mêmes transformations, avec une équivalence entre ce qui se passe aujourd'hui et ce qui s'est passé hier.

Dans le langage social, des intervalles de temps assez longs permettent de discuter l'histoire dans les mêmes conditions à travers les ans, et même à travers les siècles.

Nous avons les mêmes conditions quand nous regardons la lumière par un vitrail, où les constantes ne sont pas identiques à travers toute l'ouverture ; l'ouverture dans le temps est l'intervalle où les conditions sont sensiblement identiques : c'est très difficile à atteindre dans la sociologie ; les applications cybernétiques en sociologie sont très importantes, mais, comme objet de laboratoire, la sociologie est ce qu'on pourrait imaginer de pire pour l'investigation d'une longue suite dans le temps. On rencontre toujours cette difficulté. J'ai voulu, depuis le commencement, employer les idées cybernétiques, les idées d'information, et ainsi de suite, dans l'analyse du phénomène social ; mais dans le phénomène social, l'uniformité des conditions est ce qu'il y a de plus difficile à obtenir.

M. LE PRESIDENT.

Si j'ai bien compris, par vous, les applications de la cybernétique présupposent la répétition des conditions.

M. WIENER.

Une continuité qu'on ne trouve pas dans les affaires humaines.

M. LE PRESIDENT.

Cette répétition se trouve davantage pour vous dans la nature que dans l'Histoire.

M. WIENER.

Oui.

M. ZEMAN.

Je suis d'accord.

M. LE PRESIDENT.

Que voulez-vous dire, Monsieur Wiener, en disant que la répétition est indispensable dans la cybernétique ?

M. WIENER.

On doit appliquer la cybernétique dans les affaires humaines ; nous en avons besoin précisément dans le domaine où l'application est la plus difficile.

M. BRESSON.

Je vois bien que pour M. Zeman il est indispensable qu'il y ait une organisation, mais je ne vois pas très bien comment cette organisation apparaît ; car dire que, par exemple, on peut la mesurer du moins par la mesure de l'information c'est une chose, mais cette mesure de l'information n'explique pas pourquoi il y a une organisation ; dans bien des cas il est même probable que ce n'est pas la meilleure façon de décrire cette organisation ; c'est une mesure très grossière, et qui fait, d'autre part, appel à des éléments aléatoires qui sont inhérents au système. Quel est le processus qui a fait naître cette organisation ? Vous dites qu'il faut que cette organisation augmente, que le processus humain implique un accroissement de cette organisation, et qu'on peut la traduire en disant que la négentropie augmente, mais comment ? Vous contentez-vous de la constater et de dire que c'est ainsi ?

M. LE PRESIDENT.

En somme, pourquoi une organisation première ?

M. ZEMAN.

La matière sans organisation — c'était le chaos, le néant. L'être n'est pas possible sans ordre. L'ordre augmente, la matière se développe, car elle a la faculté de conserver l'organisation, la faculté de la réverbération, la faculté « mnémique ». Pourquoi ? Pourquoi existent le mouvement, l'évolution, la matière, l'homme, etc. ?

M. LE PRESIDENT.

Il n'y a que cette réponse à faire ; je ne sais pas si elle vous satisfera ; l'organisation est donnée avec la matière ; on ne peut les séparer. Mais sous le mot organisation ne mettons-nous pas des choses très différentes comme l'organisation, la cristallisation, l'organisation de la vie, l'organisation sociale ? Est-ce que cela signifie la même chose ?

M. BECK.

Il faudrait d'abord faire des suppositions philosophiques qui ne sont pas évidentes et qui ne sont pas admises par beaucoup de philosophes. Ce sont des suppositions que vous avez faites. Vous parlez du monisme, du matérialisme dialectique, et vous dites que la matière est ce qui possède un caractère monistique. Je crois que tout ceci est un postulat nécessaire de la science quantitative, mais c'est une supposition entièrement gratuite que les philosophes discutent, et peut-être nient complètement. Même dans le cas du monisme matérialiste, il me semble que les hommes de science n'accepteront pas toujours d'utiliser la méthode dialectique. Les hommes de science procèdent par analyse.

L'explication que l'homme de science cherche réside dans les éléments mêmes. Or, dans la dialectique, et non seulement la dialectique de Hegel mais celle de Marx, l'explication se trouve dans la synthèse dans laquelle les éléments sont compris ; ils sont identiques, mais ils sont aussi différents, ce que nous appelons en anglais « *identity* » *and* « *difference* ». Ils sont compris et détruits en même temps.

Les hommes de science que je connais sont peut-être monistes, et je crois qu'il faut être moniste pour faire de la science ; mais ils ne sont pas dialecticiens ; et je n'ai jamais vu dans une explication scientifique donnée que la dialectique ait été utilisée dans un laboratoire ou même dans un travail théorique. Comment en ce cas peut-on parler de la dialectique dans une théorie scientifique ?

M. ZEMAN.

Je suis d'accord que dans mon travail tout n'est pas évident, mais je pense que la philosophie ne peut pas toujours faire une analyse ; je précise seulement la collaboration entre la philosophie et les sciences exactes.

De plus, je veux dire qu'il existe dans la philosophie plusieurs points de vue et ici j'ai parlé du monisme, j'ai pensé au monisme au sens de Leibniz ; je pense que Leibniz était moniste et dialecticien aussi bien. Mais je sais que la dialectique a plus de place en philosophie que dans les sciences exactes. Je pense que, dans le développement futur de la connaissance, la méthode dialectique qu'on trouve par exemple chez Platon, Hegel, Leibniz, etc., la méthode dialectique du raisonnement, qui synthétise les contradictions, interviendra. Je pense que cette méthode aura plus tard sa place même dans le raisonnement logique et dans le raisonnement des sciences exactes. Mais c'est seulement une question de foi.

M. LE PRESIDENT.

Je m'excuse, et nous en sommes tous responsables, mais nous sortons de l'utilisation de l'information dans la philosophie pour traiter la question de savoir si un monisme matérialiste peut être dialectique.

M. BECK.

Ce que je demandais c'est si les hommes de science utilisaient la dialectique.

M. LE PRESIDENT.

C'est bien cela, mais je pense que la réponse donnée nous entraînerait dans une discussion sur la dialectique et

le matérialisme, alors que notre thème est la place donnée à l'information dans un pareil système ; je suis bien d'accord qu'il fallait poser la question, mais je pense que le dialogue doit s'interrompre.

M. BECK.

Nous sommes d'accord.

M. MACKAY.

J'ai deux petites questions à poser. Voici la première : vous dites que sans organisation la matière ne pourrait pas du tout exister. N'est-il pas vrai que la *perception* de la matière ne pourrait pas exister ? Vous n'avez pas de raison d'aller plus loin et de dire que la matière même ne pourrait pas exister.

M. ZEMAN.

Je pense qu'il existe toujours dans la matière une organisation. Peut-être y en a-t-il peu, peut-être s'approche-t-elle du zéro, ou l'organisation peut être aussi relativement négative. C'est aussi la question de la mesure, d'une échelle.

M. LE PRESIDENT.

Je crains que ces dialogues n'aboutissent à des affirmations mutuelles dont nous ne sortirons pas.

M. MACKAY.

Ma question, c'est seulement : Quelle est la preuve qui permet de passer de la perception à l'affirmation ontologique ?

S'il n'existe qu'un chaos, il n'y a pas de possibilité de connaître. L'être que nous connaissons habituellement est toujours plus ou moins organisé ; il n'y a pas de chaos véritable dans la matière que nous connaissons.

M. LE PRESIDENT.

C'est là qu'on est un peu ennuyé d'être philosophe : nous arrivons à être tous d'accord sur un point, la connaissance des objets et les conditions de la connaissance des objets sont identiques, comme le disait Kant, c'est une identité, mais nous ne la comprenons pas tous de la même façon. Les uns la tirent de la connaissance, d'autres de l'autre côté ; j'ai peur que ce ne soit un dialogue de sourds. L'un dit : « Sans la connaissance, il n'y aurait pas d'ordre », et l'autre : « Sans la matière qui est dessous il n'y aurait pas de connaissance » ; chacun apporte une affirmation sans démonstration possible.

M. MACKAY.

J'ai obtenu la réponse à ma question ; ce n'était pas une discussion, je posais une simple question. La réponse est : il n'y a pas de preuve.

M. ZEMAN.

Peut-être avez-vous raison si vous formulez la question ainsi, en liant le côté gnoséologique au côté ontologique, mais nous ne pouvons rien savoir sur l'être, sinon ce qu'on en peut connaître. Certainement, l'être ne dépend pas de la connaissance.

M. LE PRESIDENT.

Il y a toujours une tautologie ; l'être se connait, et la connaissance c'est la connaissance de l'être.

M. MACKAY.

Ma deuxième question est la suivante : il me semble que M. Zeman s'est permis d'être déçu par Brillouin, parce que, je crois, que la distinction de Brillouin entre l'information absolue et distribuée est illusoire.

La quantité d'information définie par Shannon est une relation analogue à l'improbabilité, et de la même manière

que la probabilité doit être définie à l'égard d'un certain corps d'évidences, de même la quantité d'information doit être définie à l'égard d'un corps d'évidences ; il n'y a pas, dans la théorie de l'information, le concept de l'information absolue.

M. LE PRESIDENT.

La notion d'information absolue est contradictoire à l'usage de la notion d'information.

M. ROSENBLITH.

Et n'a pas de base dans l'évidence.

M. ZEMAN.

Mais Brillouin parle de l'information absolue.

M. LE PRESIDENT.

Bien sûr ; c'est justement ce qu'on lui reproche.

M. ZEMAN.

Une certaine analogie pourrait exister entre l'entropie maximale de la thermodynamique et une notion d'information ou d'organisation maximale.

M. LE PRESIDENT.

La réponse revient à dire que, de même qu'il y aurait une croissance de l'entropie qui est au minimum à — 273°, d'après la thermodynamique, il y aurait aussi une information maximum, ce qui ne veut pas dire absolue. M. Zeman nous propose donc de substituer à « information absolue » les mots « information maximum ».

M. ZEMAN.

Mais je sais bien qu'il n'y a pas de preuve pour cela.

M. QUILLET.

Je demande si M. Zeman n'a pas retenu de la dialectique, du matérialisme dialectique seulement l'aspect négatif (ne pas séparer, ne pas abstraire le substrat des qualités, etc.). N'attendrait-on pas, au contraire, de la dialectique qu'elle nous donne des explications sur la genèse de l'information au sens objectif du terme ?

Le côté positif de la dialectique serait celui qui permettrait d'expliquer le passage à des qualités supérieures, selon la formule de M. Zeman, c'est-à-dire l'accroissement de l'information. Il me semble que c'est le rôle de la dialectique de donner une vision du monde optimiste, disait M. Hyppolite, manifestant non pas la nécessaire dégradation mais au contraire la création dans l'absolu de l'information ; la dégradation étant en quelque sorte *pour nous*.

M. LE PRESIDENT.

M. Zeman nous a dit que Leibniz était dialecticien, mais s'il n'y a plus de Dieu théologique, il faut expliquer comment l'information s'accroît. Et vous avez voulu dire que le rôle de la dialectique consisterait à montrer comment cet accroissement résulterait de la dialectique, alors qu'une méthode analytique ne permettrait pas de répondre.

M. ZEMAN.

J'ai parlé de ce côté positif de la dialectique.

M. LE PRESIDENT.

Vous l'avez constaté.

M. ZEMAN.

J'ai dit que la matière se développe.

M. MOLES.

Je voudrais faire deux remarques ; la science a deux faces, d'abord les livres, et d'autre part la science connaît des étapes de développement. Dans ce cas nous avons certainement une dialectique.

M. LE PRESIDENT.

Nous avons essayé l'année dernière d'aborder le problème de la dialectique ; à mon sens ce fut épouvantable ; personne ne s'est entendu.

M. DE SANTILLANA.

Il y a toujours un abîme entre les savants et les philosophes sur la façon dont l'on entend la dialectique ; les savants ont une dialectique à eux, eux aussi, mais ce n'est jamais la même.

M. GRENIEWSKI.

Vous avez dit, Monsieur, que quand vous lisez un travail bien fait d'un naturaliste ou d'un mathématicien, ou d'un logicien, vous ne trouvez jamais la même dialectique.

M. BECK.

Je ne lis pas les mathématiques.

M. GRENIEWSKI.

Moi je les lis, et je ne trouve pas non plus. En qualité de marxiste, je vais vous répondre que je suis absolument d'accord avec vous, mais si vous prenez une longue série de travaux, si vous cherchez quelle était l'évolution des idées, l'évolution et la création des notions, l'évolution des thèses, vous constatez qu'en général il y a quelque tendance semblable dans les divers domaines de la science, d'un développement pour ainsi dire d'une façon imprécise mais courte, en zig-zag. Et cela, c'est de la dialectique ; ce n'est pas vrai qu'elle est toujours simple, toujours la même, qu'elle va toujours en triade. C'est un analphabétisme de le dire, mais en général les idées, dans le domaine des sciences que je connais, il est vrai qu'*à long terme* elles évoluent en zig-zag. Je ne suis pas le Bon Dieu, seulement un petit chercheur, mais il est vrai qu'il y a d'abord telle ou telle thèse, puis on dit que ce n'est pas cela, enfin on dit « c'est le cas le plus simple, ni l'un, ni l'autre n'avait raison, ils avaient des points de vue trop spécialisés ; maintenant nous généralisons leurs points de vue ». Je crois que c'est seulement cela qui est la dialectique, mais cela existe vraiment et chaque homme qui fait l'histoire des sciences peut se demander si un tel processus existe dans son domaine et plusieurs personnes l'ont trouvé de façon objective.

M. POIRIER.

La dialectique ne sert à rien pour construire la science, mais elle est très utile pour comprendre l'histoire et la philosophie des sciences ; c'est déjà un bien beau résultat d'être d'accord.

M. LE PRESIDENT.

Cela signifie que la dialectique est dans l'épistémologie et non pas dans l'objet même, elle est une manière de refaire l'Histoire et non pas une manière dont l'objet même se développe. C'est grave. La discussion revient à savoir si la dialectique est dans la connaissance des sciences, dans la réflexion sur les sciences, plutôt que dans la nature.

M. VERMEERSCH.

Avez-vous une ou deux définitions de l'information ? Parce qu'on peut dire que le monde réel est un ensemble d'objets, mais il faut dire que dans le monde des propositions il y a deux sortes de propositions, vraies et fausses ; et je ne trouve pas l'équivalent de cela dans le monde réel ; c'est pourquoi je pense que l'information dans le monde réel et dans le monde des propositions ne peut pas être tout à fait la même chose.

M. ZEMAN.

Peut-être mes définitions ne sont-elles pas en réalité différentes ; je ne le crois pas. J'ai en réalité une seule définition, et c'est que l'information est l'organisation. Si, entre les propositions, les unes sont vraies et les autres sont fausses, cela veut dire que pendant la représentation de la réalité dans la connaissance il y a une perte de quantité d'information.

M. LE PRESIDENT.

Je pense que j'ai été injuste tout à l'heure envers un de mes anciens élèves, car M. Richard avait demandé la parole.

M. RICHARD.

Si j'ai bien compris, M. Zeman dit que d'une part il y a une perte d'information quand on va de l'objet au sujet, et, en même temps, à mesure que l'on connaît, on a une information plus grande ; cela semble un paradoxe. Je me demande si l'on a vraiment le droit de dire qu'il y a une déperdition d'information de l'objet au sujet.

Pour dire cela, on peut mesurer cette déperdition seulement lorsqu'on sait, en mesurant le chemin qu'on a fait, la diminution d'incertitude que l'on a eue. Il faudrait que quelqu'un pût savoir tout ce qui est à connaître dans l'objet.

Je comprends cela fort bien dans un système tel que celui d'Aristote, mais, dans un système dialectique, il est évident que la fin ne peut pas être posée dès le départ comme ce qui contient déjà toute l'histoire.

La première proposition me paraît introduire un paradoxe parce que, justement, on se place en quelque sorte à la fin de l'histoire. Il est évident qu'à chaque moment de l'histoire, à mesure que nos connaissances sur l'hérédité s'accroissent, on peut dire qu'il y a un progrès à partir du moment où nous sommes par rapport au moment où nous étions auparavant, mais je crois inutile de postuler une limite qui contient tout le savoir possible sur les objets tant que ce savoir ne peut pas se manifester par une action effective sur les objets.

Autrement dit, la connaissance sur l'objet est liée à la possibilité d'une opération sur l'objet, à l'utilisation des capacités de cette connaissance pour obtenir de l'objet l'opération qu'il n'était pas possible d'obtenir par l'objet auparavant.

M. ZEMAN.

Il y a deux sources d'information : il y a la réalité objective dont on se fait une image, et si l'on fait cette image, cela provoque une perte d'information, mais en même temps, dans le sujet, jaillit une certaine autre information. Le canal d'information a deux directions : l'une de l'objet au sujet, avec une perte d'information, et l'autre où le sujet forme lui-même une autre information.

M. LE PRESIDENT.

La discussion nous a passionnés, mais elle a peu progressé et on ne pouvait pas lui demander de progresser. Il me semble que la dernière question posée par M. Richard est celle de savoir s'il faut prendre au sérieux le temps créateur en passant de l'objet au sujet.

M. RICHARD.

Je comprends très bien ce qu'a exprimé M. Zeman dans un système de type aristotélicien ou leibnizien, mais pas dans un système créateur.

M. LE PRESIDENT.

Dans un système dialectique, il faut dire que le temps est créateur ou qu'il n'est rien du tout, sinon on projette en avant ce qui a été inventé ou ce qui s'est accru vers le futur, et cette projection n'est pas concevable dans un système qui n'est pas théologique.

M. RICHARD.

Si l'on entend la dialectique au sens aristotélicien ou leibnizien, je suis d'accord, mais non pas au sens hegelien.

M. LE PRESIDENT.

C'est une difficulté universelle ; c'est ce qui fait sa grandeur, mais aussi notre impuissance à la résoudre ; je crois que nous pouvons conclure là-dessus, parce qu'il n'y a pas moyen de faire autrement.

L'INFORMATION EST-ELLE OBJECTIVABLE ET MATHEMATISABLE ?

FRANÇOIS BONSACK

Président : M. HYPPOLITE

M. LE PRESIDENT.

La séance est reprise.

La parole est à M. Bonsack sur le sujet suivant : « L'information est-elle objectivable et mathématisable ? »

M. BONSACK.

Pour commencer, je vais solliciter votre indulgence pour deux raisons, la première parce que je ne vais pas dire quelque chose de sensiblement différent de ce que j'ai écrit dans mon résumé ; j'espère que rares sont ceux qui m'ont lu, et pour les autres ce sera un rappel en vue de la discussion. La seconde, parce que je vais dire des choses très élémentaires, bien connues de la plupart d'entre vous ; si je le fais tout de même c'est que je crois qu'il n'est pas toujours inutile de rappeler certaines choses simples, mais fondamentales.

Qu'est-ce qu'une information ?

On peut être tenté de répondre : « l'information, c'est un transfert de structures d'un endroit à un autre ».

L'insuffisance d'une telle définition saute aux yeux. On ne peut pas définir l'information par ce qu'elle est. On ne peut la définir qu'en disant ce à quoi elle sert, en l'intégrant dans le cadre qui est normalement le sien : celui de l'action finalisée. Une information, en soi, n'est rien, n'a rien d'une

information si personne n'est informé ou si l'information reçue est inutilisable pour celui qui l'a reçue.

Ceci dit, je ne vais pas pour autant sombrer dans l'irrationalisme et déclarer que la véritable nature de l'information est inaccessible parce que finalisée. Au contraire, je vais tenter d'analyser le mécanisme de cette action finalisée pour montrer où et dans quel sens intervient l'information.

Une action stéréotypée, déclenchée uniquement de l'intérieur, sans aucun stimulus extérieur, ne nécessite aucun transport d'information de l'extérieur vers l'intérieur.

Par contre, l'information intervient :

a) Lorsqu'il s'agit de commander un organe, de le mettre en action et de l'arrêter, de l'accélérer ou de le ralentir, bref de lui imposer un programme stéréotypé, catégorique. Ces informations peuvent être appelées plus précisément des « ordres » ;

b) Lorsque l'action répond ou s'adapte à une situation donnée du monde extérieur ;

c) Enfin, lorsqu'il s'agit de coordonner entre elles les actions des divers organes pour qu'elles se complètent en une action synthétique harmonieuse.

Si donc on met à part la catégorie un peu particulière des « ordres », les informations interviennent :

a) Pour renseigner l'agent sur l'état du monde extérieur ;

b) Pour renseigner l'agent sur son propre état.

A quoi lui serviront ces informations ? Comment les utilisera-t-il ?

Le résultat de l'action d'un agent sur un système dépend en général de l'état de ce système. Si donc l'agent veut obtenir un résultat bien défini, il doit adapter son action à l'état du système sur lequel il agit.

Mais même là où l'action est dirigée par un programme établi d'avance, ce programme ne peut pas être appliqué n'importe où ou n'importe quand. On a beaucoup insisté sur l'aspect figé des actions instinctives, en opposition avec les actions intelligentes, sur l'incapacité de certains animaux à s'adapter à des situations nouvelles, imprévues, et sur leur application aveugle de consignes qui n'ont, dans le cas particulier, plus aucun sens.

Cependant, même ces actions instinctives ne se déroulent pas n'importe où et n'importe quand. Elles sont en général déclenchées par des situations précises. Par exemple, les rituels liés à l'accouplement sont déclenchés par la présence du partenaire, ou du moins par un signal qui manifeste sa présence. Autrement dit : l'agent ou bien adapte son action à la situation qu'il trouve, ou bien ne déclenche son action que lorsqu'il a trouvé une situation favorable, ce qui revient à peu près au même.

Toutes les informations ne sont cependant pas du type que nous venons d'examiner ; elles ne sont pas toutes destinées à une utilisation immédiate. Elles peuvent être stockées dans la mémoire en vue d'une utilisation ultérieure éventuelle. Dans ce cas, on peut parler de connaissances.

Ces connaissances sont de deux types :

a) Elles peuvent, tout comme les informations au sens restreint, renseigner l'agent sur un certain état du milieu, mais un état stable et permanent. Dans ce cas, des connaissances acquises une fois pour toutes peuvent servir un grand nombre de fois. C'est le cas, par exemple, pour les connaissances géographiques ou topographiques ; comme une certaine région se trouve en général dans un état stable, on peut acquérir une certaine connaissance de sa topographie et utiliser cette connaissance pour choisir le meilleur chemin reliant telle ou telle autre paire de points.

b) Mais elles peuvent aussi concerner des *relations* entre des événements, et surtout des relations causales. La connaissance que telle cause produit tel effet sera très utile pour l'action finalisée : le but étant donné, il suffit de chercher dans sa mémoire une relation causale dont l'effet correspond à ce but ; la cause devient alors le moyen de l'atteindre. Ce moyen peut ne pas être lui-même immédiatement accessible ; il devient alors un but secondaire, à atteindre lui-même à l'aide d'autres moyens, etc.

Toutes ces considérations s'inscrivent dans un contexte finalisé : il s'agit d'obtenir que l'action aboutisse à un résultat bien déterminé, à une fin. Quelles sont ces fins ?

Il y a toute une hiérarchie de fins. Il y a des fins immédiates : le but immédiat de mon geste peut être, par exemple, de prendre un crayon. Mais ce but immédiat est subordonné à un but plus lointain : je veux prendre un crayon pour écrire. Et écrire n'est pas encore un but en soi : j'écris pour communiquer ma pensée, etc. On peut remonter ainsi, degré par degré, toute la hiérarchie des buts.

Mais il faudra bien s'arrêter quelque part. On ne pourra pas ramener sans cesse des buts à d'autres buts plus primordiaux. On aboutira finalement à des buts en soi, à des buts primordiaux au-delà desquels on ne peut plus remonter. Ces buts seront, par exemple, chez les animaux, la conservation de l'individu, la perpétuation de l'espèce ou peut-être l'obtention d'un certain état agréable, ou la volonté d'éviter certains états supposés désagréables. Chez l'homme, on trouvera, en

outre, certains buts esthétiques, la satisfaction d'une certaine curiosité, l'intégration à une société, les deux derniers buts étant peut-être au service de la conservation de l'individu.

Mon but n'est cependant pas de construire une éthique. Peu m'importe quels sont les véritables buts primordiaux de l'homme, dans les questions que je me pose ici, pourvu qu'on m'accorde qu'il y en a, qu'il arrive un moment où il n'y a plus de réponse au pourquoi final, ces derniers buts pouvant être, suivant les philosophies, le bonheur de l'humanité, une certaine harmonie de la nature ou la satisfaction d'un Dieu tout puissant.

Si donc, selon M. Couffignal, la cybernétique est l'art de rendre l'action efficace (étant sous-entendu qu'ici « efficace » signifie « permettant d'atteindre certains buts »), l'information est une condition nécessaire à l'efficacité de cette action ; une action aveugle atteindra rarement ses buts alors qu'une action informée les atteindra presque toujours. C'est dans ce contexte qu'il faut situer la notion d'information pour qu'elle prenne tout son sens.

*
* *

Après ces remarques préliminaires — et en les oubliant quelque peu, pour y revenir plus tard — examinons comment la théorie de l'information a tenté de préciser sa notion centrale.

Pour cela, nous allons *quitter complètement* le terrain de l'information proprement dite et examiner la production d'une machine à produire des suites de signes selon certaines lois de probabilités, d'une machine à produire des chaînes de Markov. Ces chaînes de signes n'auront aucune signification, ne seront porteuses d'aucune information. Mais le traitement mathématique de telles chaînes pourra s'effectuer de façon plus précise et plus commode et nous pourrons ensuite essayer de retransposer dans le domaine de l'information les enseignements que nous aurons dégagés.

Les chaînes de Markov présentent les caractéristiques suivantes :

1. — Les éléments s'y présentent avec une certaine probabilité,

2. — Il peut y avoir des liaisons, ce qui signifie que la probabilité d'avoir tel élément dépend de la présence de tels autres éléments de la chaîne (par exemple de l'élément ou des éléments immédiatement précédents). En français, la lettre *q* a une liaison particulièrement forte avec la lettre *u*, ce qui signifie que la probabilité pour que la lettre suivant un *q* soit un *u* est très forte.

On peut définir — peu importe comment — sur ces

chaînes de Markov une grandeur appelée *entropie* et qui caractérise la *variété, la diversité* ou, d'un autre point de vue, *l'incohérence, le désordre* des signes qui la constituent.

Cette entropie-variété est d'autant plus grande que les éléments parmi lesquels sont choisis les constituants de la chaîne sont plus nombreux.

Elle est *diminuée* :

a) Si les éléments ne se présentent pas tous avec la même fréquence, si certains éléments ont une probabilité plus grande que d'autres ;

b) Si les éléments présentent des *liaisons* entre eux.

Pour illustrer cette grandeur, pour en montrer intuitivement la signification, quelques exemples seront plus efficaces que de longues explications théoriques :

a) Influence du nombre d'éléments constituants :

Chaîne formée de deux éléments équiprobables, indépendants : 10100110001111110001010000100... Entropie par élément : 1 bit.

Chaîne formée de quatre éléments équiprobables, indépendants : 33210230331300011321002002300...

Entropie par élément : 2 bits.

L'entropie-variété par élément de la seconde suite est évidemment plus grande.

b) Influence de la non-équiprobabilité des éléments :

Deux éléments équiprobables :
0010110000010011010101001...
Entropie par élément : 1 bit.
Deux éléments, trois 1 pour un 0 :
1010111111011111111011110...
Entropie par élément : 0,811 bit.

La seconde suite est évidemment moins variée, moins diverse, moins incohérente, plus désordonnée que la première. L'entropie-variété de la première est donc plus grande que celle de la seconde.

c) Influence des liaisons :

Deux éléments équiprobables, indépendants :
00101100000100110101010101001...
Entropie par élément : 1 bit. — Deux éléments équiprobables liés :
Probabilité 3/4 d'avoir un 1 après un 1
ou un 0 après un 0
Probabilité 1/4 d'avoir un 1 après un 0
ou un 0 après un 1
10011111111000000000111110...
Entropie par élément : 0,811 bit.

La seconde série est manifestement moins variée, moins diverse, plus cohérente et plus ordonnée que la première ; elle a donc une entropie-variété plus petite.

Enfin, si l'on considère non plus l'entropie par symbole, c'est-à-dire en quelque sorte une densité d'entropie, mais l'entropie d'un fragment de chaîne d'une certaine longueur, l'entropie croît évidemment avec la longueur du fragment. Par exemple, les fragments de chaîne d'un élément de longueur ont, dans le cas de deux éléments équiprobables, une entropie-variété assez faible, de 1 bit.

Il n'y a, en effet, que deux possibilités, équiprobables :

0 et 1

Mais si l'on prend des fragments de deux éléments, il y a quatre possibilités équiprobables :

00 01 10 et 11

L'entropie-variété de tels fragments est de 2 bits.

Si l'on passe à des fragments de trois éléments, il y a huit possibilités équiprobables :

000 001 010 011 100 101 110 et 111

Leur entropie-variabilité est de 3 bits.

Bref, dans le cas particulier où les éléments sont équiprobables et indépendants, l'entropie-variété est proportionnelle au logarithme du nombre de combinaisons différentes possibles. On a choisi de prendre le logarithme de ce nombre (plutôt que ce nombre lui-même), comme mesure de l'entropie-variété, pour que cette variété soit proportionnelle au nombre d'éléments que compte le fragment, pour qu'on puisse raisonnablement parler d'une densité d'entropie. Ces exigences apparaissent indispensables dès qu'on repasse à l'information proprement dite.

**

En première approximation, il semble qu'on puisse assimiler les messages — en faisant toujours abstraction de leur signification — à des fragments de chaînes de Markov d'un certain type. En effet, les langages naturels tels que l'anglais ou le français sont caractérisés :

a) Par une certaine fréquence des lettres utilisées (en français, les *n*, les *s* et les *a* sont très fréquents ; les *f*, les *g* et les *q* sont beaucoup plus rares) ;

b) Par des liaisons entre les lettres, mais aussi entre les mots et entre les phrases, liaisons qui caractérisent la structure orthographique, syntactique et logique de la langue.

Si l'on tient compte de *toutes* les liaisons, on obtiendra

des chaînes de Markov qui seront des messages non seulement grammaticalement corrects, mais auxquels on pourra encore attribuer un sens cohérent, quoique quelconque.

Ici encore, on peut attribuer à de telles suites une certaine entropie-variété qui exprime leur diversité. Par exemple, il est évident que l'ensemble des télégrammes de vœux pour un mariage a une moins grande entropie-variété que l'ensemble des messages quelconques transmis par un bureau de poste.

**

Passons maintenant à la quantité d'information.

Que fait l'expéditeur d'un message ? Il dispose d'un ensemble de messages possibles, par exemple de l'ensemble des messages rédigeables en français, ou de l'ensemble des suites de signes qu'on peut transmettre à l'aide d'un téléscripteur.

Il doit choisir parmi cet ensemble de messages habituellement *un seul* message. Cependant, ce n'est pas là le cas le plus général, car il se peut que, parmi les messages dont il dispose, il y en ait qui soient exactement synonymes. Il se peut encore qu'il ne veuille pas dire quelque chose de très précis, qu'il veuille simplement faire un geste aimable ; peu lui importe si le message expédié est : « Meilleurs vœux de bonheur », ou : « Souhaits pour une vie heureuse ». Ou enfin, il se peut que la transmission soit troublée, et que certaines lettres soient altérées. En général, s'il n'y a pas trop d'erreurs, on arrive à rétablir le message en s'aidant du contexte, c'est-à-dire des liaisons. Ici encore, toute une catégorie de messages perturbés différant entre eux par la nature et l'emplacement des erreurs, permet de rétablir le même message. Le cas le plus général est donc celui où l'expéditeur choisit non pas un message particulier, en ne voulant que celui-là, mais où il choisit une certaine sous-classe de messages et, à l'intérieur de cette sous-classe, un message *quelconque*.

Ce qui caractérise la sous-classe choisie, c'est son originalité, sa spécificité, ce qui la distingue du reste des messages possibles. C'est *cela* que l'expéditeur veut envoyer ; il a quelque chose de précis, de déterminé, de non-quelconque à dire à son correspondant ; il veut que ce correspondant comprenne cela même qu'il a voulu lui dire et non pas n'importe quoi.

En théorie de l'information, on peut définir cette spécificité, cette originalité d'une certaine sous-classe de messages

par rapport à une classe plus large prise comme référentiel à l'aide de la différence entre l'entropie-variété de la sous-classe et celle du référentiel.

Selon cette définition, la spécificité d'une sous-classe est d'autant plus élevée :

a) Que le référentiel a une entropie-variété plus grande ;

b) Que la sous-classe choisie est plus étroite, plus monotone ; en un mot, qu'elle a une entropie-variété plus petite.

Dans le cas particulier où la sous-classe choisie ne comprend qu'un seul message, elle n'a aucune variété et son entropie est nulle. Alors — et alors seulement — la spécificité moyenne des messages coïncide avec l'entropie-variété du référentiel.

C'est cette spécificité, cette originalité du message, pour parler comme M. Moles, différence entre deux entropies-variétés, qui pourra servir de base, dans une théorie de l'information, à une mesure de la *quantité d'information*. La quantité d'information contenue dans un message est égale à la spécificité du message reçu (ou de la sous-classe dont il fait partie) par rapport à l'ensemble des messages possibles à la réception.

Prenons par exemple le cas d'une transmission troublée par des perturbations quelconques. Si l'on transmet plusieurs fois le même message, il sera perturbé de diverses façons ; à un message unique à l'émission correspond donc à la réception une collection de messages d'une certaine variété. La quantité d'information qui a réellement été transmise, qui a survécu aux perturbations, est mesurée par la spécificité de cette collection issue d'un seul message par rapport à l'ensemble des messages perturbés (issus de n'importe quel message) possibles à la réception. Plus la transmission est troublée, moins grande est la spécificité de cette collection et moins grande est l'information apportée en moyenne par un représentant de cette collection. (La théorie de l'information, qui s'intéresse plus — et pour de bonnes raisons — à un certain type de messages qu'à un message particulier, s'occupe des *moyennes* obtenues avec ce type. Cependant, il est également possible de définir de façon cohérente la spécificité d'un *message particulier* et d'opérer avec elle ; en pondérant ces spécificités particulières en fonction de la fréquence relative du message correspondant, on retrouve la spécificité moyenne dont il est question ici.)

Il est assez curieux de constater lorsqu'on fait le calcul de ces spécificités particulières, qu'on obtient des quantités d'information, des spécificités négatives. C'est une notion qui est bien connue en théorie des jeux : l'information négative

est destinée à faire croire à l'adversaire, par exemple dans le bluff au poker, quelque chose qui n'est pas vrai ; les messages qui apportent une quantité d'information négative sont ceux qui suggèrent plus un signe faux que le signe correct.

* *
*

Ce que nous avons exposé jusqu'ici, c'est une interprétation *objective* de la théorie de l'information, où l'on considère des collections de messages supposées réalisées.

On interprète souvent, au contraire, la théorie de l'information dans un sens subjectif. L'entropie devient alors une mesure de l'*incertitude* d'un observateur quant à un événement ou quant au contenu d'un message, c'est-à-dire une mesure de la variété de la collection d'événements ou de messages supposés par lui possibles.

On considère alors deux incertitudes : celle que le récepteur avait avant de recevoir le message, et celle que le récepteur avait après réception du message ; il peut en effet subsister une certaine incertitude à la réception, si le message a été perturbé, par exemple. Si le message a réellement apporté quelque information, il doit avoir diminué l'incertitude du récepteur, il doit lui permettre d'éliminer certaines éventualités qui lui avaient semblé possibles ou d'en poser certaines autres comme très vraisemblables. La quantité d'information est alors mesurée par la diminution qu'a permise le message de l'entropie-incertitude, ce qui peut sans peine se ramener à notre définition objective (il s'agit de la différence entre les entropies-variétés des deux collections envisagées subjectivement par le récepteur).

Ces définitions de la quantité d'information sont-elles satisfaisantes ? Correspondent-elles à la notion intuitive d'information ? Peut-on construire des paradoxes où la quantité d'information définie par la théorie ne correspond évidemment pas à la notion intuitive ?

Nous laisserons pour l'instant de côté la question de l'intégration de l'information dans une action finalisée pour nous cantonner dans l'aspect uniquement informationnel de la question (information comme but en soi).

Raymond Ruyer, dans son livre — avec lequel je ne suis presque jamais d'accord, mais que pourtant je trouve excellent — « La cybernétique et l'origine de l'information », propose trois cas :

a) Un texte formé de phrases et de mots, et ayant un sens ;

b) Un texte formé de lettres choisies au hasard et n'ayant aucun sens ;

c) Un texte formé par la répétition indéfinie de la même lettre.

Que pourra-t-on dire au sujet de ces trois textes, selon la théorie de l'information ?

Dans la conception objective, on pourra dire ceci :

Le texte *a*) (texte sensé) a une haute spécificité, à condition que ce soit ce texte-là et aucun autre qui ait été voulu par l'auteur, qu'il ne soit pas simplement un représentant d'une certaine classe de textes dont n'importe quel autre eût pu faire l'affaire (auquel cas sa spécificité serait moins grande).

Le texte *b*) (texte aléatoire) n'a aucune spécificité en tant que représentant des textes aléatoires. Par contre, si l'on s'intéresse, pour une raison ou pour une autre, à cette suite de lettres et à aucune autre, sa spécificité est élevée.

Le texte *c*) (mêmes lettres) n'a aucune spécificité en tant que texte formé de mêmes lettres parmi l'ensemble des textes formés de mêmes lettres. Il a une certaine spécificité — très faible — en tant que texte formé par la répétition de telle lettre particulière parmi l'ensemble des textes formés de mêmes lettres. Par contre, il a une très grande spécificité par rapport à l'ensemble des textes formés de lettres quelconques, et il n'y a là aucun paradoxe, car, dans certains cas, un message formé de lettres toutes identiques peut être porteur d'autant d'information que celui formé de lettres variées. Supposons par exemple que j'aie à transmettre à mon correspondant le numéro gagnant le gros lot de la loterie nationale. Transmettrai-je moins d'information lorsque ce numéro sera formé des mêmes chiffres, lorsque le billet gagnant portera par hasard le numéro 333 333 ?

(On s'étonnera peut-être que, dans une conception objectiviste, la spécificité soit différente suivant le point de vue auquel on se place. Cela provient du fait que la spécificité ne peut être estimée que par rapport à un référentiel et varie suivant le référentiel choisi. La situation est d'ailleurs exactement la même en calcul des probabilités.)

Dans la conception subjectiviste, la solution est très simple : il y a information s'il y a diminution de l'incertitude du récepteur ; sinon, il n'y en a pas. On voit immédiatement dans quel cas il y a diminution de l'incertitude du récepteur et dans quel cas il n'y en a pas.

Il n'y a donc pas de paradoxe lorsque le problème est posé de façon adéquate.

***

Essayons maintenant d'intégrer l'information dans l'action finalisée. C'est ce que Ruyer apelle l'« encadrement axiologique ».

Voici un nouveau paradoxe de Ruyer : « Si j'ai oublié d'éteindre mon appareil de radio et si le haut-parleur déclame un poème pendant mon absence ; si de plus, au studio émetteur, le disque tourne sans aucune surveillance, il n'y a évidemment pas « récitation d'un poème », mais fonctionnements élémentaires incoordonnés, qui n'ont une structure consistante que d'une manière toute précaire et résiduelle. Il n'y a pas plus vraiment « poème récité » que « profil de Napoléon » sur le rocher sculpté par la seule nature. Que le monde physique et le monde des machines soient abandonnés à eux-mêmes, tout se désordonnera spontanément ; tout fera la preuve qu'il n'y a jamais eu d'ordre véritable, d'ordre consistant, en d'autres termes, qu'il n'y avait jamais eu d'information. »

La thèse défendue par Ruyer peut se résumer en un slogan : « Sans conscience informée, pas d'information ». Cette thèse est-elle correcte ?

L'exemple choisi par Ruyer semble convaincant. Mais il ne prouve pas ce que Ruyer veut lui faire prouver. Il prouve qu'il n'y a pas vraiment transmission d'information s'il n'y a pas de récepteur, ce qui est évident. (Le « récepteur » de radio n'est pas ici un véritable récepteur, puisque ce n'est pas à lui que les informations sont destinées.) Pour prouver qu'il n'y a pas d'information s'il n'y a pas de récepteur conscient, il faudrait introduire un récepteur non conscient et montrer alors qu'il n'y a pas transmission d'information.

Nous avons dit que le rôle de l'information était de permettre à l'agent de réaliser une certaine fin par une adaptation convenable de l'action.

N'est-ce pas exactement ce qui se passe dans une machine auto-régulée ? Prenons par exemple un laminoir continu muni d'un appareil mesurant l'épaisseur de la tôle obtenue et réglant en conséquence cette épaisseur. N'y a-t-il pas transmission d'information du détecteur à l'effecteur ? N'y a-t-il pas adaptation des moyens à la situation de façon à réaliser une fin qui est ici l'obtention d'une tôle d'épaisseur constante ?

Je veux ici répondre d'avance à quelques objections.

Première objection : Il n'y a pas là vraiment information ; il y a simplement une chaîne causale, une suite de déclenchements.

Réponse : En un certain sens, c'est juste. Le mécanisme

est trop simple. Mais supposons qu'il y ait mesure de plusieurs paramètres et action en fonction de tous ces paramètres. Il n'y a alors plus liaison rigide, transmission en quelque sorte d'un ordre du détecteur à l'effecteur. Il y a transmission de plusieurs informations à un organe central qui détermine l'action en fonction de la situation qu'elles lui ont révélée.

Deuxième objection : Ici encore, il n'y a pas véritable information, parce qu'il n'y a pas véritable décision, parce qu'il n'y a pas décision souveraine, parce que, les informations étant données, la réponse est univoquement déterminée.

Réponse : Si, dans certains cas, chez l'homme, la réponse est différente de celle qui serait déterminée par la situation, c'est ou bien que l'homme s'est trompé et je ne vois pas l'avantage qu'il y a à se tromper — il est d'ailleurs facile de réaliser une machine qui se trompe — ou bien qu'il a pour cela des raisons qui dépassent le cadre des paramètres dont tient compte la machine. Il n'y a pas là différence de nature ou de principe.

Troisième objection : Si la machine est ce qu'elle est, c'est qu'un homme l'a construite et lui a délégué en quelque sorte une partie de ses facultés.

Réponse : Premièrement, est-il bien sûr que l'homme n'est pas un être construit par un autre qui lui aurait délégué une partie de ses facultés ? Et dans ce cas, où est la supériorité de l'homme ? On me répondra peut-être que même si l'homme est un être créé, il a une certaine autonomie. Mais la machine aussi ! Lorsque l'homme lui a donné certains buts, la machine poursuit ces buts en parfaite autonomie, sans plus s'occuper des désirs et de la volonté de son créateur (pour autant que ces buts et ces désirs n'aient pas été mis d'avance dans la machine précisément sous la forme des buts donnés).

Deuxièmement : Il existe des machines capables d'apprendre, c'est-à-dire capables d'acquérir des structures qui ne leur avaient pas été données par leur constructeur. Certes, elles ne se construisent pas à partir de zéro. Mais l'homme lui non plus ne part pas de zéro : il a quelques millions d'ancêtres plus ou moins lointains derrière lui.

Quatrième objection, qui est celle de Ruyer : Si les machines étaient abandonnées à elles-mêmes, elles continueraient peut-être de fonctionner, mais leur fonctionnement n'aurait plus aucun sens, deviendrait absurde.

Réponse : Cette objection ne se présente que dans une conception anthropocentrique, selon laquelle seuls auraient un sens les phénomènes qui *nous* sont utiles, qui ont un

sens quant à nos propres buts, quant à nos buts immédiats ou derniers. Pourquoi la machine n'aurait-elle pas, elle aussi, ses buts ? Pourquoi, d'un point de vue neutre, ces buts ne seraient-ils pas aussi valables que ceux de l'homme ?

Bien sûr, nous ne tenons pas à ce que les machines servent des buts qui leur seraient propres et qui ne coïncideraient pas avec nos propres buts. Mais de là à accorder à nos buts une valeur absolue, il y a un pas que je ne saurais franchir.

Je sais bien que la plupart des métaphysiciens cherchent à asseoir les valeurs sur un fondement objectif, indépendant de nous, de notre utilité, de nos préférences, de nos désirs. Il me semble même de plus en plus que c'est cela qui caractérise ce qu'on appelle habituellement la métaphysique (la métaphysique de fait et non pas la métaphysique de droit). Une métaphysique est une tentative pour donner du monde une théorie que se veut objective et dans laquelle certaines valeurs jouent un rôle essentiel (ou du moins dans laquelle on cherche à fonder objectivement une hiérarchie des réalités qui correspondrait à la hiérarchie des valeurs que nous leur attribuons).

Si l'on accepte de faire de la métaphysique une théorie du monde tel que l'homme voudrait qu'il fût, j'applaudis des deux mains et je trouve que la métaphysique est une discipline légitime et utile. Mais si l'on veut faire de la métaphysique une théorie du monde tel qu'il est, il ne faut pas s'étonner si l'on n'est pas toujours pris au sérieux. Je ne conteste en rien la valeur des valeurs *pour nous*, mais je conteste qu'on puisse leur conférer un statut absolu — du moins aucune tentative dans ce sens ne m'a jusqu'ici convaincu.

Voici enfin une dernière objection, particulièrement fréquente :

La théorie de l'information ne concerne que la *forme* du message, et non sa *signification*.

Est-il possible d'esquisser une théorie de l'information qui tienne compte de la signification du message ?

Il est tout d'abord évident que la théorie de l'information, sous sa forme objective, ne s'occupe pas du sens du message ; elle ne se préoccupe que de la spécialité de sa forme et mieux vaut supprimer complètement le terme d'information.

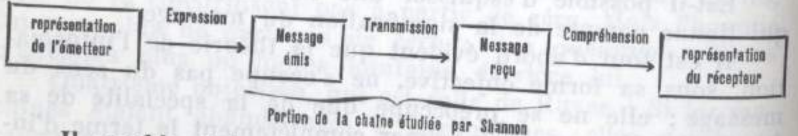
Dans la conception subjective, au contraire, l'information devient essentielle : d'un message sans signification, on ne peut pas dire qu'il transporte de l'information, puisqu'il ne permet pas de réduire l'incertitude du récepteur.

Certes, il est très difficile, comme l'a remarqué M. Richard, de chiffrer de façon précise l'information apportée par un message, puisqu'on ne connaît en général ni l'incertitude du récepteur avant la réception du message ni l'incertitude résiduelle qu'il a après la réception du message, du fait de l'équivoque. Cependant, il ne me semble pas qu'il faille, comme on dit en allemand, jeter l'enfant avec le bain ; une estimation précise est difficile ; mais il est tout de même possible de donner un certain ordre de grandeur, au moins dans certains cas simples, et surtout si on renonce à une mesure universelle de la quantité d'information, en se bornant, comme on devrait toujours le faire en toute rigueur, à la qualité d'information pour tel individu ; d'autre part, il faut se garder de faire de la quantité d'information une mesure de la *valeur* qu'aura cette information pour celui qui la reçoit. Une information très complète et très détaillée peut ne lui être d'aucune utilité, alors qu'une courte phrase peut prendre pour lui une signification capitale. On peut certes attribuer telle valeur chiffrée à tel message et opérer avec ces valeurs comme on opère dans la théorie des jeux. Mais la théorie de l'information ne permet pas de *calculer* cette valeur (valeur qui différera d'ailleurs selon les critères utilisés).

Mais, en laissant de côté la valeur du message, je vais essayer de m'aventurer sur le terrain explosif de l'extension de la théorie de Shannon à la signification. Shannon ne s'est intéressé qu'à une fraction de la chaîne totale de la communication qui irait, en quelque sorte, de l'idée ou de la représentation de l'émetteur à celle du récepteur.

Voici la représentation de l'émetteur, et un premier processus qui serait l'expression, et puis le message exprimé, et puis le message qui est ensuite transmis tel qu'il est reçu, qui doit être ensuite compris, pour aboutir à la représentation du récepteur. Shannon ne s'est occupé que de cette portion-là.

Schéma :



Il semble d'abord indubitable que le passage de la représentation au message exprimé est quelque chose comme un codage ou une traduction, et qu'on peut se préoccuper de réduire autant que possible l'équivoque de cette traduction, c'est-à-dire de rechercher une expression aussi fidèle que

possible. Inversement, la compréhension du message peut apparaître comme une traduction en sens inverse, comme un décodage. Ici encore se posent des problèmes analogues à ceux que pose la transmission restreinte des messages ; à partir du message reçu, il faut chercher par une sorte d'exégèse à comprendre ce que l'autre a voulu dire, à réduire autant que possible l'équivoque en utilisant les liaisons, ces liaisons pouvant d'ailleurs être de natures très diverses, purement syntactiques ou grammaticales, ou au contraire logiques, faisant même appel à des lois naturelles, à une certaine connaissance de ce qui est possible ou probable dans la situation donnée.

D'autre part, pour diminuer l'équivoque, on peut chercher à augmenter la redondance, répéter plusieurs fois, de façon différente, une même idée, chercher à la fixer par divers moyens auditifs, visuels, pratiques, etc.

Tout ceci montre qu'au moins l'appareil conceptuel, sinon l'appareil mathématique de la théorie de l'information, peut dépasser le problème technique de la transmission et envahir celui de la sémantique.

***

On peut aussi approcher le problème d'une autre manière, on peut substituer à la transmission humaine un modèle de cette transmission ; bien sûr il faudra être prudent dans l'application de ce que donnera le modèle à la réalité ; comme l'a si bien dit M. Greniewsi, on triche ; mais je pense qu'il y a tout de même une manière honnête de tricher et des modèles qui permettent de tirer certaines conclusions quant à ce qu'ils représentent. Car qu'est-ce, par exemple, que la physique, sinon un gigantesque modèle ? Et cependant on ne peut nier qu'il soit d'une très grande efficacité.

Nous allons donc remplacer l'émetteur et le récepteur par des systèmes physiques ; ce n'est pas tout à fait absurde, puisque dans le cas des machines à feed-back c'est effectivement la situation dans laquelle nous nous trouvons.

Supposons que cette chaîne de communications soit mise dans un milieu présentant une certaine constante, de telle sorte que les états du système émetteur reviennent avec une certaine fréquence fixe, éventuellement avec certaines liaisons, bref qu'ils forment une chaîne de Markov. Supposons en outre que par un certain codage on fasse correspondre à un tel état du système émetteur un état du système récepteur, c'est-à-dire un état de réaction. Cette correspondance peut être univoque ou non, déterminée ou stochastique, suivant un cerain spectre de probabilité.

Il est alors possible de calculer l'information de façon rigoureuse, une information s'appliquant à toute la chaîne, et non pas seulement au fragment commençant et finissant avec le message. Un tel modèle peut-il s'appliquer à la communication interhumaine ? Jusqu'à un certain point je pense que oui : on peut aussi considérer que l'émetteur se trouve dans un certain état et cherche à mettre, par son message, le récepteur dans un certain état ; la réussite dépendra de la qualité de la transmission à tous les chaînons, également à celui de l'expression et de la compréhension. Bien sûr ce modèle ne permettra pas de faire des estimations numériques précises, mais il n'en aide pas moins à la compréhension de la communication humaine.

***

Un problème se pose encore, c'est celui du code ; comment la correspondance entre l'objet signifié et le symbole signifiant s'établit-elle ? Comment vérifier que la correspondance établie est correcte ?

On passe ici au domaine de la théorie de la connaissance qu'on ne peut pas traiter en quelques lignes ; j'indiquerai cependant que ce problème peut être résolu en faisant appel à un critère d'efficacité de la chaîne totale, efficacité pour atteindre certains buts que se propose l'organisme.

Un code est adéquat s'il permet une action efficace ; si, au contraire, les correspondances n'ont pas été établies correctement, il se révèlera inefficace dans certaines situations.

Il me semble que c'est la seule manière d'assurer la correction d'un code, sans s'engager dans un cercle vicieux.

***

Que peut-on maintenant répondre à la question posée dans le titre ?

Il semble que la notion intuitive d'information puisse être représentée efficacement par la notion mathématique de « quantité d'information ». Cette quantité d'information concerne non seulement la forme du message, mais aussi, jusqu'à un certain point, sa signification.

Cependant, il paraît impossible de définir la signification en soi, sans référence à un récepteur particulier ou du moins à un récepteur potentiel ou même idéal.

D'autre part, la quantité d'information n'est pas entièrement objectivable du fait qu'elle doit toujours être mesurée par rapport à un référentiel et que le choix du référentiel reste plus ou moins arbitraire.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT.

Je remercie M. Bonsack de sa très intéressante communication, extrêmement riche par rapport au sujet que nous voulons aborder.

J'ouvre la discussion bien qu'il ait répondu d'avance, puisqu'il a organisé sa conférence comme une suite de réponses aux objections possibles.

M. WIENER.

Je suis très content d'avoir entendu cette conférence ; l'important, c'est qu'on ne doit pas considérer l'information absolument, mais toujours comme information relative, et je pense que l'idée de négentropie prise absolument n'a aucune valeur. C'est ce que M. Bonsack a fait ; c'est une communication qui doit être lue par chaque cybernéticien.

(*Applaudissements.*)

M. MACKAY.

Je voudrais m'associer à ce que M. Wiener a dit ; je regrette beaucoup que cette présentation n'ait pas été faite au commencement de nos séances, mais je comprends que ce n'était pas possible.

Je voudrais suggérer, quand on essaie de donner des définitions de la signification des messages, qu'il faut étendre le diagramme plus que cela n'a été fait ici, parce qu'il me semble que les questions de signification considèrent les buts du récepteur auquel l'information est donnée, et, au London Symposium, j'ai suggéré de définir la signification de cette façon, par la fonction sélective sur l'ensemble d'états de préparation, d'organisation, du récepteur, pour la poursuite de ses buts dans la région d'où vient l'information.

C'est la boucle dans le diagramme qui permet de définir la signification ; sans la boucle, sans le feed-back, il serait difficile de donner une définition satisfaisante dans tous les cas.

M. WIENER.

C'est une restriction progressive des possibilités de la signification pour l'action.

M. QUILLET.

Je suis extrêmement séduit par les perspectives ouvertes par la conférence de M. Bonsack, y compris même pour mes réflexions personnelles, mais je me demande s'il a conscience du fait que malgré tout il existe déjà une théorie qui s'adapte assez bien à ces questions et qui est la phénoménologie ; pour autant qu'elle met en jeu précisément une théorie des perspectives du sujet, et pour autant que la signification est relative à une certaine perspective dans laquelle se trouve le sujet, il me semble que M. Bonsack pourrait se référer non seulement aux très importants travaux de M. Ruyer, mais aussi peut-être à une extension phénoménologique de ce genre de recherches.

M. BONSACK.

J'ai l'impression que la phénoménologie tend plutôt vers la subjectivation, alors que j'aurais plutôt tendance à aller vers l'objectivation.

M. LE PRESIDENT.

Je n'ai pas tellement l'impression que M. Bonsack se soit servi de M. Ruyer ; il lui a répondu.
Ni la phénoménologie, ni la thèse de Ruyer, dans la mesure où elle subjectivise le problème, où elle montre l'importance de la subjectivité, ne répondent à l'effort de M. Bonsack qui, tout en étant très raisonnable, a consisté à montrer comment un modèle de récepteur pouvait se substituer, dans une certaine mesure, être considéré comme le référentiel, sans avoir recours à la subjectivité, en s'en passant au maximum.

Par conséquent, si vous tirez vers la phénoménologie, M. Bonsack vous répondra — et je m'excuse de le faire à sa place — qu'il va essayer de construire un référentiel comme modèle qui, dans une large mesure possible, évitera ce recours.

L'objection que vous faites est la suivante : vous aurez beau faire, vous ne réduirez pas la signification à votre modèle Et l'on vous répond : je fais mon possible pour le faire.

M. WIENER.

Les idées de cette conférence peuvent très bien s'appliquer à la théorie de la codification des messages. On peut approcher le travail de Shannon très facilement en prenant cette direction-ci ; c'est une chose que j'ai un peu étudiée, et je suis sûr que les méthodes données ici peuvent s'appliquer d'une manière précise, mathématique.

M. LE PRESIDENT.

Je ne vous ai pas trahi en disant que vous essayez de substituer un modèle récepteur ?

M. BONSACK.

C'est bien cela.

M. LE PRESIDENT.

M. Bonsack fait un effort raisonnable sinon convaincant pour substituer cela à un sujet conscient.

M. ROSENBLITH.

Je voudrais d'abord exprimer mon admiration pour le raisonnement serré, la présentation vraiment utile de M. Bonsack ; je m'associe à ce qu'ont dit le professeur Wiener et le professeur MacKay ; on nous a montré comment aborder

de façon logique, objective, le problème de la quantité d'information.

Maintenant, quand M. Bonsack s'aventure de l'autre côté d'où a été Shannon, il y a évidemment des situations qui ne sont nullement banales, où l'on peut faire du trichage honnête.

Mais la question qui se pose à l'heure actuelle, et c'est celle qu'a posée M. Lwoff hier matin — c'est qu'il y a d'autres domaines où il n'est pas possible de limiter le champ de façon utile, de façon à obtenir des prévisions raisonnables sur le champ de situations possibles, l'ensemble des actions possibles, l'ensemble de ce qui pourrait arriver, comme l'a dit M. MacKay. A ce moment-là, au lieu de substituer un modèle un peu pauvre de ce qui est l'homme (disons une combinaison de récepteur et émetteur), il vaut peut-être mieux avoir recours à d'autres techniques.

C'est une objection qui ne porte pas sur le fond de votre thèse, car je suis d'accord avec vous qu'il faut essayer cela, mais j'ajouterai qu'il faut comprendre que c'est là une stratégie qui ne peut pas se jouer indéfiniment. Parce que si la stratégie se joue indéfiniment dans le sens de s'étendre, par exemple, à toutes les questions de l'évolution, nous risquons de perdre de vue les découvertes que nous pouvons faire par d'autres moyens, à l'heure actuelle. Ceux qui se sont intéressés au langage, par exemple Chomsky, sont arrivés à démontrer qu'il n'est pas utile de concevoir le langage comme émis par une source ayant les caractéristiques d'un processus de Markov infini.

La question qu'on ne peut donc pas éviter peut s'énoncer ainsi : comment allez-vous « rajuster » à la frontière d'une science qui avance les modèles soi-disant informationnels aux modèles structuralistes ou autres qui reflètent les mécanismes qui entrent en jeu ?

Permettez-moi de vous donner un exemple presque banal des difficultés qu'on rencontre dans ce domaine : présentons de façon répétée à un sujet humain deux sons purs et équiprobables ; demandons-lui de nous dire lequel des deux c'est et mesurons le temps qu'il faut pour réagir (en somme c'est l'expérience dont le Dr Frank nous a parlé hier). Quand la différence en fréquence s'accroît, le temps de réaction se raccourcit. On pourrait sans doute donner l'explication qu'il y a toujours moins d'information si la différence en fréquence est importante. Mais si l'on présente maintenant alternativement un son pur et un bruit, le temps de réaction se réduit encore plus. La question se pose alors : comment peut-on rendre commensurables en termes informationnels ces deux

discriminations ? Comment traduire dans le langage d'un modèle probabiliste des faits biologiques ayant trait aux structures qui sont mises en cause ?

M. BONSACK.

J'ai fait un modèle limité ; il faut voir les cas où cela s'applique et ceux où cela ne s'applique pas.

M. LE PRESIDENT.

C'est une réponse positive et sage.

M. FESSARD.

Je voudrais poser une petite question qui abaisse le débat, concernant la transmission d'un message qui se veut significatif, qui veut déclencher chez le récepteur une action correspondant au message. Un message a une certaine structure, un but a une certaine structure (si ce but est, par exemple, un acte moteur plus ou moins compliqué, il a une certaine structure) ; il me semble que le problème de la transmission sémantique d'une signification se ramène à savoir s'il y a une certaine ressemblance, une certaine adéquation, une certaine congruence entre la structure du message et celle du but. Ne serait-il pas intéressant de posséder une méthode d'évaluation, numérique même, de la ressemblance de ces structures par exemple, une méthode d'évaluation du nombre de coïncidences des éléments de la double complexité ?

Est-il nécessaire, pour évaluer cette transmission de signification, de connaître l'ensemble des buts selon le schéma dont vous parlez ? N'est-il pas plus simple d'essayer justement d'évaluer la ressemblance entre la structure du message et la structure du but que le message veut déclencher ?

M. BONSACK.

Dès qu'on fait intervenir le but, il me semble qu'on se pose des questions quant à la valeur du message, et la théorie de la communication peut s'appliquer uniquement à savoir si les messages ont été transmis correctement mais non pas à la valeur du message.

M. FESSARD.

Ce qui m'intéresse, c'est *l'efficacité* du message.

M. LE PRESIDENT.

Au lieu de mesurer la valeur du message par rapport à tous les messages possibles, M. Fessard demande s'il n'y aurait pas lieu de mesurer le rapport d'une structure à une autre structure, la structure réponse à la structure émise, et si vous ne résoudriez pas, en vous limitant à cela, un certain nombre de problèmes ?

M. BECK.

Je suis de cet avis.

M. MACKAY.

Je suis d'accord, en principe, avec M. Fessard, mais je voudrais indiquer que ce n'est pas seulement dans le cas humain qu'il serait possible de préciser la signification de l'information ; on pourrait prendre un système d'automatisme simple, et parler du but du système et de la correspondance entre l'information sélectionnée et l'état des environs, dans lequel il faut agir.

Mais nous parlons non seulement de la signification d'information indicative, mais aussi du problème de définir la signification des questions et des ordres. Il faut élargir notre domaine de débats pour inclure les questions et les ordres dans notre théorie de signification, si nous voulons donner une définition universelle.

M. BONSACK.

Il me semble qu'on peut appliquer la théorie de l'information au problème étendu de la transmission du message avec sa signification, mais il ne me semble pas qu'on puisse baser sur la théorie de l'information une évaluation de la valeur des messages par rapport à un certain but ou quelque chose de ce genre.

M. FESSARD.

Disons, de l'efficacité ; mais cela me parait important de mesurer l'efficacité.

M. BONSACK.

Mais il ne semble pas que ce soit du domaine de la théorie de l'information ; il me semble qu'on se pose des questions peut-être sur l'efficacité de la transmission, mais pas sur l'efficacité de l'utilisation que fera ensuite le récepteur de ces informations.

M. LE PRESIDENT.

On ne se pose pas de questions sur l'efficacité de l'efficacité ; acceptez-vous cette formule ?

Vous envisagez une certaine efficacité...

M. FESSARD.

Vous dites que l'information n'a de sens que par rapport à un but, que si elle est finalisée.

Donc, un des problèmes majeurs devrait être de confronter le contenu informatif à l'efficacité pour réaliser le but. Il y a là, me semble-t-il, une lacune dans la théorie.

M. BECK.

Avez-vous considéré la possibilité d'identifier les structures sémantiques du message, c'est-à-dire la signification, avec le comportement du récepteur, c'est-à-dire les réactions du récepteur, c'est-à-dire ce qu'on fait du message ?

Les analystes d'Oxford disent que la signification d'un mot ou d'une phrase, c'est l'usage qu'en fait le récepteur ; alors vous avez une espèce d'identité entre la signification et l'efficacité dans le récepteur. Vous pouvez mesurer les deux.

M. BONSACK.

On peut prolonger la chaîne du côté de la praxis.

M. BECK.

Mais l'identification n'a pas d'autre sens que l'efficacité.

M. LE PRESIDENT.

Vous avez raison ; c'est un postulat de l'exposé qu'on vient de nous faire que signification égale efficacité. C'est un postulat admis.

M. BECK.

Mais on peut faire un modèle sur cette identité.

M. WIENER.

Pour considérer la signification des questions, on ne doit pas considérer seulement une communication unique, mais une suite de communications avec feed-back.

M. LE PRESIDENT.

C'est très profond ; là s'élargit le problème.

M. WIENER.

Les conditions sont une partie de la méthode pour évo-quer la signification progressivement et la question ne peut pas être considérée comme une surquestion mais comme une étape d'une méthode pour évoquer la signification.

Il faut alors former des questions nouvelles, après les réponses, et considérer tous les processus.

M. LE PRESIDENT.

N'aboutiriez-vous pas à ceci, que vous refusez par la mul-tiplication indéfinie des réponses de poser le problème de la signification, parce que l'efficacité n'est pas d'un seul récep-teur, mais vous prolongez indéfiniment la chaîne de récep-teurs ?

M. WIENER.

Pour l'investigation scientifique, on doit toujours pouvoir modifier les questions selon les résultats déjà obtenus ; c'est un procédé pour obtenir l'information qu'on ne peut pas com-prendre complètement par une seule question.

M. GRENIEWSKI.

Une autre remarque : vous avez parlé de l'analyse des informations qui sont des ordres et de l'analyse des informa-tions qui sont des questions.

Chaque question peut être traitée comme une commande spéciale, comme un ordre. On peut traiter une question comme un ordre de la structure suivante. On peut réduire les questions aux ordres « Dis-moi : est-ce que...? »

Ne doit-on pas appliquer ceci aussi aux ordres ? Je crois que ce sera la même chose.

M. WIENER.

C'est cela.

M. GRENIEWSKI.

Et quand il s'agit de commandes successives dans un feed-back, on pourrait faire encore une telle remarque : du point de vue théorique, cette série doit être infinie, elle devrait alors durer indéfiniment, mais en pratique c'est la même chose qu'avec les évaluations faites à l'aide des séries infinies con-vergentes.

M. WIENER.

C'est cela.

M. GRENIEWSKI.

En pratique, il y a des réponses qui suffisent déjà ; le reste de la série infinie n'est pas intéressant ; j'ai dit : en pratique.

M. LE PRESIDENT.

Nous avions entendu jusque-là, autrefois, une opposition du clos et de l'ouvert. M. Wiener nous fait une théorie de la machine ouverte, si j'ai bien compris. Communication ouverte qui, théoriquement, serait capitale, mais qui, pratiquement, est close.

M. MACKAY.

Il y a une différence entre un ordre et une invitation.

M. LE PRESIDENT.

Il me reste à remercier M. Bonsack pour sa communication si intéressante.

INFORMATION ET THEORIE DE L'INFORMATION

Louis COUFFIGNAL
Inspecteur général de l'Instruction publique
Directeur de l'Institut Blaise Pascal

Président : M. HYPPOLITE

M. LE PRESIDENT.

Mesdames, Messieurs, M. Poirier étant parmi nous ce soir, je pense qu'il va bien vouloir accepter de présider la séance au cours de laquelle M. Couffignal va nous parler.

Je resterai auprès de lui s'il le permet.

(*M. Poirier prend la co-présidence.*)

M. LE PRESIDENT POIRIER.

Nous allons remercier M. Couffignal d'avoir bien voulu être parmi nous et nous sommes prêts à l'écouter.

M. COUFFIGNAL.

Messieurs les Présidents, Mesdames, Messieurs, je voudrais vous avertir d'abord que les feuilles que vous avez reçues à titre provisoire ne correspondent que d'assez loin à ce que je vais vous dire ce soir.

Je voudrais essayer de résumer, avec des exemples à l'appui, ce que la cybernétique a apporté à une méthodologie de la recherche et de l'action et ceci, qui se trouvait résumé en quelques lignes au début des textes distribués, va devenir l'essentiel de mon exposé.

Je partirai d'un exemple très simple qui met bien en évidence les différentes phases d'un raisonnement du type scientifique. J'ai pris comme exemple la superposition de deux mouvements vibratoires sinusoïdaux, disons, par exemple, de deux sons purs. Un mouvement sinusoïdal est représenté par une équation du type :

$$x = A \sin \omega t$$

Si nous superposons deux mouvements, l'un sera représenté par :

$$x_1 = A \sin \omega_1 t$$

et l'autre par :

$$x_2 = A \sin \omega_2 t$$

Je suppose que les amplitudes sont les mêmes. Quant à la somme des deux mouvements, d'après la loi de superposition des petits mouvements, elle se représente par l'équation :

$$x = x_1 + x_2$$

Deuxième opération. On transforme l'expression $x = x_1 + x_2$ par la trigonométrie classique. On arrive à la forme :

$$x = A \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t$$

C'est une simple transformation de calcul.

Troisième opération : ici réintervient la physique. On constate que :

$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

est une constante ; on peut en faire la pulsation d'un certain mouvement vibratoire ; le reste doit par conséquent représenter l'amplitude ; on constate qu'elle est variable et on peut dire que le résultat de la superposition de deux mouvements vibratoires sinusoïdaux est un mouvement vibratoire qui a pour pulsation la demi-somme des pulsations et qui a pour amplitude $A \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t$, amplitude, cette fois-ci, variable.

Et puis, si l'on fait l'expérience, si l'on émet simultanément un do et un sol, on s'aperçoit que ce raisonnement est faux, car l'oreille distingue le do et le sol et ne perçoit pas un son qui serait représenté par une pulsation égale à la demi-somme des pulsations, c'est-à-dire un mi, et par une amplitude qui varierait.

Toutefois, si l'on émet deux sons très voisins, deux sons suffisamment voisins pour que l'oreille ne puisse pas les distinguer, en tant que fréquences, on perçoit bien un son auquel on peut également attribuer la demi-somme des amplitudes, puisqu'elle ne peut pas être distinguée plus que ne le sont les deux sons initiaux, et on perçoit très bien l'amplitude variable. C'est le phénomène des battements, dont on se sert en particulier pour régler les cordes de piano.

Nous avons ici un ensemble d'opérations, les unes mentales, les autres physiques, que j'ai groupées sous quelques rubriques dont les unes sont classiques et dont l'autre est un néologisme.

Nous avons d'abord constitué une représentation abstraite, un *modèle* du phénomène que nous voulions étudier ; ce modèle est constitué par deux équations représentant les phénomènes initiaux, et l'équation représentant la loi de superposition des petits mouvements.

Puis nous avons créé une transformation du modèle par un raisonnement purement déductif, par les mathématiques. Nous avons fait ensuite une opération, qui est l'opération nouvelle rarement signalée en tant que telle, c'est le passage du modèle à une interprétation, à un être fictif qui pourrait être un être physique, un être véritable, parce qu'il a une propriété commune avec la formule de départ, et une autre propriété suffisamment voisine de la formule de départ pour que l'ensemble puisse être interprété comme la représentation d'un certain phénomène sinusoïdal ; ici, il y a une opération qui n'est évidemment pas une déduction, mais qui est une suggestion, donnée par la forme de cette formule, d'une certains structure physique — et c'est pourquoi nous proposons le terme de *réification* pour cette opération qui consiste à imaginer un être qui pourrait être réel, et dont le modèle, qui est le transformé du modèle de départ, est compatible avec les propriétés que l'on peut attribuer à la classe d'êtres physiques dont on s'occupe. Ici, le modèle transformé est du même type que le modèle de départ, il pourrait être aussi d'un type différent.

Dès l'instant où nous avons imaginé cet être fictif, la vérification expérimentale s'impose.

Or, cette vérification se fait dans un cas et ne se fait pas dans l'autre.

Si nous serrons de plus près les conditions expérimentales, nous constatons qu'elle ne se fait pas quand l'appareil de mesures est capable de distinguer les deux vibrations et qu'elle se fait lorsque l'appareil de mesures n'est plus capable de distinguer les deux vibrations.

Ceci au passage met en évidence l'importance de l'appareil de mesures dans une vérification et d'une façon plus large — je ne voudrais pas dire plus philosophique — l'importance de l'opérateur, de l'agent qui fait l'expérience, et

dont les réactions avec le phénomène mesuré ne peuvent jamais être négligées ou en tout cas ne devraient jamais l'être.

Ceci nous conduit à essayer de faire une étude systématique de la notion de modèle, ce qui nous amènera à une interprétation de cette façon de procéder qui est la façon classique de procéder du physicien, et aussi du naturaliste, et qui nous permettra également d'expliquer certains caractères dans un assez grand nombre d'idées exprimées ces derniers jours, et d'y trouver des exemples à l'appui de la classification que je vais vous proposer.

Si nous cherchons d'une façon très large, et qui pourrait peut-être paraitre un peu sommaire au départ, comment sont acquises les connaissances (les connaissances relatives au milieu extérieur), nous en apercevons deux :

— l'une qui consiste à faire des observations et qui donne des attributs observés, d'où l'on tire ou un pattern, c'est-à-dire une vision globale de l'extérieur, ou une description, c'est-à-dire une énumération d'attributs qui font connaître ce milieu extérieur ;

— l'autre qui consiste à créer un modèle en choisissant certains attributs parmi ceux qui ont été précédemment observés, en leur donnant une organisation, c'est-à-dire l'apparence de la réalité. Ceci nous conduit à dire que les ensembles observés, autant que les ensembles créés par modélisation, sont ce que nous appellerons des *êtres* intellectuels, des êtres de raison que nous ne pourrons pas qualifier de physiques car ces êtres que nous tirons du réel ou que nous créons à partir de connaissances mises en mémoire, ce sont tous des images mentales.

Quand nous aurons à raisonner sur quelque chose, nous raisonnerons sur ces images : dans bien des cas on croit raisonner sur la réalité, et on ne raisonne en fait que sur des images de la réalité.

Les attributs, soit observés, soit choisis, qui entrent dans ces raisonnements, appartiennent à un ensemble d'attributs que j'appellerai un *champ de prédicats*, pour ne pas utiliser le mot attribut, un peu trop imprécis, dans ses acceptions courantes.

Enfin, les êtres que nous observons peuvent être distingués en naturels ou artificiels selon qu'ils sont observés dans la nature ou créés par l'homme.

Cette création par l'homme étant une action, nous amène à préciser encore les termes relatifs à une action.

Une action a un *but ;* elle s'exerce sur un *milieu ;* elle est exercée par un *agent ;* ceci est banal, mais la chose capitale, à laquelle on ne fait généralement pas assez attention, c'est qu'une action est toujours faite pour atteindre le but ; même si on ne l'atteint pas, on avait l'intention de l'atteindre ; par suite, la *valeur de l'action* se mesure par son *efficacité ;* on n'agit que pour être efficace, pour atteindre un certain but.

Cette notion d'efficacité va dominer toute la méthodologie cybernétique.

A cette notion d'action, nous allons rattacher celle de mécanisme en précisant certains points de terminologie. Un *mécanisme,* c'est tout ensemble d'attributs, soit conceptuels, soit physiques, qui peut se transformer. L'idée d'évolution dans le temps, et l'idée de temps, est liée au mécanisme, du moins dans le domaine de pensée où nous allons rester. Les précautions terminologiques de cette définition ont pour objet d'englober des termes tels que : les mécanismes économiques, les mécanismes chimiques, le mécanisme d'une démonstration. Ce sont des systèmes purement conceptuels, mais qui évoluent dans le temps.

A cette notion de mécanismes conceptuels nous substituerons, parce que cela entre dans les habitudes des écrivains de la cybernétique, le terme de *mécanismes dialectiques,* voulant indiquer par là que ce sont des mécanismes qui sont destinés à entrer dans un raisonnement, dans un mouvement de pensée. Par opposition on appellera les autres *mécanismes physiques.*

D'autres notions extrêmement importantes seront, un mécanisme étant essentiellement conçu comme quelque chose qui se modifie dans le temps, les notions de *son fonctionnement,* de ses *transformations,* de son *évolution.*

Lorsqu'il agit sur le milieu extérieur, son fonctionnement, c'est la réalisation du but de l'action ; mais lorsqu'il agit sur lui-même, c'est une pure transformation comme celle de l'exemple cité.

Ici, le fonctionnement du mécanisme, qui est un modèle mathématique, est une transformation mathématique ; le mécanisme agit sur lui-même ; au fond, il est actionné par l'esprit de l'opération mais il est transformé et c'est cette transformation du mécanisme lui-même que nous englobons dans le terme plus large de fonctionnement.

Cette fusion des deux termes est nécessaire car on peut concevoir des modèles concrets par rapport à l'original, par exemple la représentation d'une formule sur une machine à calculer, et on peut concevoir des modèles abstraits par rapport à l'original, comme c'est le cas ici.

Dans le cas où l'on fait une opération de calcul sur une machine à calculer, il est certain que la machine fonctionne. Dans le cas où l'on transforme une formule abstraite comme

c'est le cas ici, il est rationnel, raisonnable tout au moins, de dire encore que le modèle fonctionne.

Nous trouverons même une sorte de règle d'usage qui nous conduira à utiliser cette façon de parler d'une façon systématique.

Enfin, les mécanismes destinés à exercer une action seront appelés *mécanismes finalisés,* et nous aurons à distinguer les *données* et le *résultat* (qui correspondent, dans le cas où le mécanisme n'est pas finalisé, à un *état initial* et un *état final*) et pour un mécanisme finalisé auquel on fournit les *données* et qui donne un résultat, nous aurons la notion de *fonction* du mécanisme, qui est la relation logique existant entre les données et le résultat.

Si l'on veut, le fonctionnement du mécanisme a pour effet de réaliser sa fonction. La considération des mécanismes physiques tend à lier à chaque fonction des *organes* au moyen desquels elle se réalise. Ces organes et leurs lois de fonctionnement constituent la *structure* du mécanisme. Mais cette conception d'organes liés à la fonction n'est pas nécessaire ; elle se réduit à un signe graphique, rond ou carré, dans les mécanismes dialectiques du genre de ceux dont nous a entretenus M. Greniewski — on l'appelle alors, souvent, une « boîte noire » — ; et elle disparaît complètement dans le mécanisme de la mentalité défini par Grey Walter.

Et nous arrivons maintenant à la notion d'analogie.

Deux mécanismes sont analogues s'ils ont des attributs communs ; ces attributs peuvent être des fonctions, ou bien des organes, et ceci nous conduit à distinguer encore la fonction de l'organe, la fonction de la structure.

Comme exemple d'analogie, je voudrais reprendre le très bel exemple donné par M. Hyppolite il y a deux jours, et avec sa permission, analyser à la lumière de ses idées quel a été le mouvement de pensée dans cet exemple.

M. Hyppolite nous disait qu'il a été amené à comprendre totalement un texte de Mallarmé qu'il avait en mémoire à la lecture de *Cybernetics* de Norbert Wiener. Il y avait un élément commun latent dans ces deux textes : l'idée de hasard.

Que s'est-il produit ? L'interprétation que nous en donnerions est celle-ci : dans l'esprit de notre Président, la description de phénomènes de hasard trouvés dans Norbert Wiener lui a permis de comprendre la description des mêmes phénomènes donnée par Mallarmé : les textes étaient différents, la représentation dans un langage, le modèle dialectique, dirions-nous, étaient différents, mais il y avait des analogies d'idées, que nous appellerions des analogies de fonctions, qui ont fait que l'un des textes a éclairé l'autre,

le fonctionnement des deux systèmes de mots étant le même.

C'est un exemple d'analogie presque à l'état pur.

La notion d'analogie ainsi précisée, nous allons pouvoir préciser la notion de modèle qui a pu rester un peu vague jusqu'à présent.

Nous dirons qu'un modèle est un mécanisme finalisé, en ce sens qu'il a un but ; qu'il est artificiel, en ce sens qu'il est fabriqué par l'homme ; qu'il comporte avec un autre mécanisme, qui est l'original, des analogies mises dans le modèle par construction ; enfin, que son but est de faire apparaître par son fonctionnement de nouvelles analogies. Alors, le modèle pourra servir soit à découvrir des propriétés de l'original que l'on ignorait, soit à découvrir les conditions de réalisation d'une action à laquelle on destine l'original.

Dans le premier cas, le modèle est un *modèle de recherche ;* son but est de faire apparaître de nouvelles connaissances. Dans le second cas, nous l'appellerons *modèle d'action ;* dans la pratique on dit plutôt un *projet* lorsqu'il s'agit de la structure de l'original, ou un *programme* lorsqu'il s'agit du déroulement d'une action.

A cette définition du modèle se rattache celle du *raisonnement analogique* qui consiste à *imaginer des modèles pour que ceux-ci suggèrent des idées nouvelles des fonctions que possède le modèle et que l'on présume exister aussi dans l'original.*

Et nous retrouvons exactement ce schéma, dans l'exemple du début.

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= A \sin \omega_1 t \\ x_2 &= A \sin \omega_2 t \\ x &= x_1 + x_2 \end{aligned}\right\} \text{Modélisation} \longleftarrow \text{R. analogique}$$

$$\left.\begin{aligned} x &= A \sin \omega_1 t + A \sin \omega_2 t \\ x &= \underbrace{A \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t}_{\text{Amplitude variable}} \; \underbrace{\sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t}_{\text{Pulsation constante}} \end{aligned}\right\} \text{Transformation} \leftarrow \text{R. déductif}$$

Réification ← R. analogique

Vérification expérimentale ← Opération physique

Fig. 1

Dans ce raisonnement, dont le déroulement est celui de tout raisonnement scientifique complet, nous trouvons :

— un raisonnement analogique, celui qui nous a permis de construire le modèle,

— un raisonnement déductif, qui nous a permis de transformer le modèle,

— un second raisonnement analogique qui nous a permis la réification du modèle transformé,

— puis, une vérification expérimentale qui est une opération physique.

Par conséquent, un raisonnement scientifique est toujours composé d'un raisonnement déductif, parfois long, parfois bref comme celui-ci, placé entre deux raisonnements analogiques.

Ceci est très important, et permettra tout de suite d'étudier les conditions d'efficacité d'un raisonnement analogique. Pour un raisonnement déductif, on sait ce qu'elles sont : elles se réduisent à la non-contradiction. Mais, pour le raisonnement analogique, on peut énoncer des conditions d'efficacité qui, sans être elles-mêmes déduites de quelque théorie, sont tout de même prouvées, au sens expérimental du mot, par tellement d'expériences ou d'observations qu'on peut les considérer comme des lois naturelles, comme des lois de l'usage de « l'esprit » quand il fait des raisonnements analogiques.

Ces conditions d'efficacité, je les ai groupées sous trois titres, cette classification pouvant n'être pas définitive :

Première loi : D'abord, il faut que le modèle soit *fidèle ;* c'est-à-dire qu'il ait suffisamment d'analogies avec l'original pour qu'on puisse tirer quelque chose de son fonctionnement.

Deuxième loi : il est avantageux que le modèle porte sur des *analogies fonctionnelles*, à l'exclusion des analogies structurales. C'est un fait d'expérience dont je vous donnerai des exemples probants, qui vous paraîtront même parfois curieux, mais c'est un fait d'expérience : un modèle portant sur les structures est rarement efficace ; il est rarement suggestif de quoi que ce soit.

Un modèle portant sur les fonctions est rarement inutile.

Troisième loi : il faut que le modèle soit aussi simple que possible. C'est une condition d'usage pratique.

Ces points de terminologie et de classification posés, je prendrai comme exemple pour l'étude de la fidélité la communication faite par Lwoff avant-hier — et je regrette que l'auteur ne soit pas là — et les discussions qui ont suivi.

Une condition de fidélité qui apparaît comme allant de soi, c'est que le modèle soit construit avec des concepts qui appartiennent au champ de prédicats dans lequel on a décrit l'original. M. Lwoff a pris beaucoup de soin pour préciser quel est ce champ ; il a nettement indiqué qu'il s'agissait d'un être vivant, des phénomènes qui se situent au niveau de la cellule, quels étaient les phénomènes de métabolisme considérés. Puis, il a construit un modèle de phénomènes observés, rendant compte du phénomène de reproduction. Nous sommes là dans le cas de la construction d'un modèle par analogie, construction présentée avec toutes les précautions nécessaires pour que le modèle soit fidèle.

Une question a été posée : Est-ce que les machines peuvent se reproduire ?

Une deuxième question était relative à l'un des caractères que M. Lwoff avait donnés comme essentiels à la notion d'être vivant : la possibilité de se reproduire. On a évoqué le chien castré et le philosophe enfermé dans une tour de verre : l'un et l'autre étant dans l'impossibilité de se reproduire devraient être considérés comme des êtres non vivants.

Essayons d'analyser ces questions à la lueur des idées que nous avons évoquées. Nous nous apercevons d'abord que la notion de machine sort du champ de prédicats précisé par M. Lwoff.

L'idée que l'on se fait d'une machine, la notion que les interventionnistes en avaient ne peuvent être décrites avec l'ensemble de prédicats utilisés par M. Lwoff pour définir les êtres vivants ; dans ces conditions, il est bien certain qu'il ne peut pas y avoir d'analogie entre la reproduction d'une machine et la reproduction de l'être vivant. Toutes les approches faites se réduisaient à l'utilisation de mots sensiblement voisins, dans leur forme, dans leur usage grammatical, mais représentant des idées différentes. On utilisait une notion intuitive du mot machine, qui ne pouvait pas être décrite par un modèle dialectique utilisant les prédicats de la première définition des êtres considérés par M. Lwoff. Le pattern évoqué par le symbole que constitue le mot « machine » n'avait pas d'analogies assez nombreuses, n'était pas un modèle assez fidèle de l'être défini par M. Lwoff pour suggérer quelque analogie valable, vérifiée par l'expérience ou méritant que l'on tente une expérience de vérification.

Sur le mot vivant, M. Lwoff a choisi un champ de prédicats particulier, celui qui lui permettait de définir l'être vivant au niveau cellulaire, dans sa vie de reproduction cellulaire, et la notion d'être vivant qui était celle de beaucoup d'entre nous, en tout cas de ceux qui ont posé les deux ques-

tions, cette notion débordait considérablement le champ que s'était accordé M. Lwoff ; ici non plus, il n'y avait pas d'analogie possible.

Mais le propre de l'analogie, c'est de s'étendre, de suggérer des situations nouvelles, qui peuvent entrainer de nouvelles connaissances.

Si dans le métabolisme de l'être vivant au sens de M. Lwoff nous faisons intervenir ses interactions avec le milieu extérieur, selon les indications données par plusieurs biologistes, en particulier les possibilités d'adaptation à un changement de régime alimentaire, et si l'on considère maintenant non seulement l'être vivant comme un être isolé, distinct du milieu extérieur, mais les interactions avec ce milieu extérieur, on est conduit à dire que l'être vivant ne se reproduit pas tout seul mais qu'il se reproduit par l'action du milieu extérieur, du moins que son mode de reproduction est modifié par l'action du milieu extérieur : il est reproduit par lui-même plus le milieu extérieur.

Si nous considérons une machine sous ce jour, elle est reproduite aussi par elle-même plus le milieu extérieur : il y a des machines à copier capables de construire une autre machine ; il y a des usines automatiques capables de construire une machine suivant un certain modèle, et avec cette nouvelle terminologie on fait apparaître des analogies entre la machine et l'être vivant : elles consistent à dire que l'un et l'autre « sont reproduits » et non pas « se reproduisent », ce qui, au fond, fait disparaître la notion d'individualité de l'être vivant dans une certaine mesure, mais conduit aussi à dire que les machines sont reproduites automatiquement de la même façon que l'être vivant.

J'ai détaillé un peu cet exemple pour montrer le jeu des notions de modèle et d'analogie.

On se rend compte, en particulier, que le modèle ne comprend que certains des attributs de l'original et cela est très important.

On dit que le modèle est *abstrait* de l'original : il serait plus correct de dire que ses attributs sont abstraits du champ de prédicats de l'original, pour être plus bref on dit que le modèle est abstrait de l'original.

Il arrive alors que les modèles soient combinés les uns avec les autres par un effet de l'imagination ; ils sont combinés, généralement, de façon que des modèles plus complexes puissent être déduits d'un certain nombre de modèles plus réduits : l'ensemble de modèles ainsi construits constitue une *théorie*.

La notion de théorie doit être complétée, quand on se

propose l'action, par celle de technologie. Une théorie offre une série de modèles qui se déduisent les uns des autres, et nous avons aussi tous les attributs négligés pour constituer les modèles, qui appartiennent au champ de prédicats des êtres dont on s'occupe.

Pour un être donné, ce qu'il faut ajouter d'attributs à son modèle pour reconstituer l'original, c'est la *technologie* de ce modèle.

Je voudrais donner un exemple de l'importance de la technologie.

On a eu besoin de construire, dans une mine du Nord de la France, un treuil pour élever les bennes du fond. On l'a normalement constitué d'un arbre et d'un manchon sur lequel se trouvait le tambour du treuil lui-même.

Le schéma (a) correspond à la première phase du raisonnement représenté Fig. 2.

Le calcul a été appliqué à la détermination du diamètre de l'arbre, ce qui correspond exactement à la deuxième phase de la Fig 2.

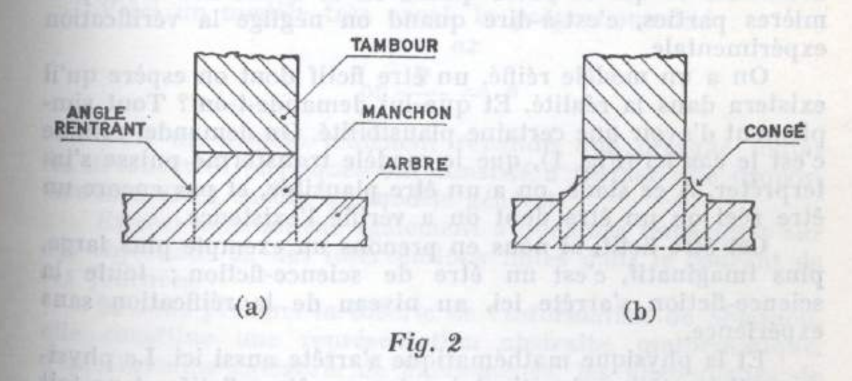


Fig. 2

On a construit l'original sur ces données, ce qui correspond à la troisième phase.

On a fait des expériences, on a constaté que le treuil pouvait — et au-delà — supporter la charge qui lui serait appliquée. On en a conclu que les calculs étaient corrects et que le treuil pourrait tenir : l'étude « scientifique » du treuil était parfaite.

Or, il s'est produit que, quelques années plus tard, le treuil a cassé, et onze mineurs qui se trouvaient dans la benne sont tombés à 250 m de fond et ont été tués.

Que manquait-il ? Il manquait le point de technologie suivant : c'est qu'on ne laisse jamais un angle rentrant aigu dans une construction mécanique ; la technologie enseigne que c'est une amorce de rupture : on le remplace par un congé (Fig. 2, b). L'ingénieur qui a fait le projet de ce treuil connaissait parfaitement la mécanique rationnelle, l'élasticité, la résistance des matériaux, mais il igorait ce point de technologie qu'on ne fait jamais un angle rentrant.

Je donne ceci comme exemple à l'appui de cette remarque, que, quand on raisonne sur un modèle, abstrait par rapport à l'original, il faut penser à toute la technologie que l'on a négligée.

Me laissant aller à un aspect pédagogique de la question, qui est peut-être trop professionnellement le mien, je tirerai argument de cet exemple pour dire que l'esprit de « l'ingénieur de conception » et celui de « l'ingénieur de réalisation » devraient être solidement liés dans le même homme et que, en physique, le théoricien et l'expérimentateur ne devraient pas être séparés.

Ceci m'amène à reprendre notre premier schéma et à me demander ce qui se passe quand on se borne aux trois premières parties, c'est-à-dire quand on néglige la vérification expérimentale.

On a un modèle réifié, un être fictif dont on espère qu'il existera dans la réalité. Et que lui demande-t-on ? Tout simplement d'avoir une certaine plausibilité. On demande, comme c'est le cas ici (Fig. 1), que le modèle transformé puisse s'interpréter. A ce stade, on a un être plausible, et pas encore un être réel ou un être dont on a vérifié l'existence.

Cet être fictif, si nous en prenons un exemple plus large, plus imaginatif, c'est un être de science-fiction ; toute la science-fiction s'arrête ici, au niveau de la réification sans expérience.

Et la physique mathématique s'arrête aussi ici. Le physico-mathématicien s'en tient à créer ces êtres fictifs et ne fait pas de vérification. Cela va parfois jusqu'à un mépris du physicien, qui se manifeste par exemple lorsqu'on nous parle de la théorie de Minkowski-Einstein : le mathématicien qui a mis en forme mathématique la théorie physique prend le pas sur le physicien qui l'a découverte.

Ceci montre l'étendue des idées se rattachant à l'usage des modèles dans des domaines très différents.

Par contre, l'extension du champ des prédicats, que j'ai utilisée tout à l'heure à propos de l'exemple de la production cellulaire, montre qu'une façon courante d'utiliser les modèles, c'est, à partir d'un être réel et de son fonctionnement, de

créer un modèle abstrait et de rajouter ensuite des attributs ou conceptuels ou observés pour utiliser ce modèle dans un champ de prédicats plus étendu.

Si nous construisons une théorie, nous arrivons à un modèle ou à un jeu de modèles très abstraits, mais dont l'extension au sens logique, le domaine d'application, se sont développés d'une façon souvent très grande.

On arrive alors à des constructions dont je voudrais vous signaler un exemple assez curieux et inattendu. Dans un ouvrage de M. Greniewski, actuellement sous presse, il y a un modèle dialectique de comportement pavlovien, de réflexe conditionné qui tient dans un schéma plus réduit que ceux que M. Greniewski nous a montrés hier ; ce modèle peut être mathématisé, comme tous ceux de M. Greniewski, de telle sorte qu'on a là un modèle très abstrait de comportement pavlovien qui entre pleinement dans le jeu de la représentation mathématique.

Le comportement pavlovien devient, non plus un phénomène biologique proprement dit, mais un modèle général, à travers ce schéma, modèle de comportement de l'être vivant ou non vivant.

Voici un modèle très usuel, la proportionnalité :

$$y = ax$$

$$\text{ou } \frac{y}{x} = a$$

C'est un modèle tellement répandu que presque toutes les découvertes physiques ont consisté à vérifier une proportionnalité. C'est encore un modèle général.

Et ceci nous amène également à quelques remarques sur des objections ou des interventions faites dans le courant de ces journées.

Si nous prenons la théorie de l'information de Shannon, elle constitue une représentation abstraite, mathématique, d'une certaine catégorie de phénomènes, les phénomènes de transmission de signaux. Mais rien n'empêche d'en extraire, si je puis dire, les idées, en attachant les notions de variabilité et de spécificité au schéma de Shannon et puis en dégageant ces idées du schéma lui-même pour les prendre en tant qu'idées, et, dans le langage ordinaire, par exemple, les appliquer à autre chose. C'est ce que M. Bonsack a fait dans la deuxième partie de son travail où il applique ces idées à l'évolution biologique, et, autant que possible, à la psychologie. Il nous a montré d'ailleurs ce matin comment, sur un cas précis, a cheminé sa pensée.

Ceci nous explique aussi la remarque que j'ai faite à l'occasion de la communication de M. Mandelbrot, qui nous a

dit que la théorie de Shannon n'est plus utile ; elle ne l'est plus dans le domaine des télécommunications et même dans le domaine des suites markoviennes, mais rien ne prouve qu'elle ne soit plus utile pour représenter des phénomènes autres que des phénomènes de communication.

Ces exemples pour montrer qu'il faut attacher à une théorie la notion de l'ensemble des phénomènes auxquels on peut l'appliquer, son *domaine d'application*. Me plaçant encore au point de vue pédagogique, et même d'une sorte d'auto-pédagogie, je noterai que : penser à une théorie et à son domaine d'application en même temps, c'est éviter le risque de l'appliquer à des questions auxquelles elle n'a pas été appliquée jusqu'à maintenant et n'est pas applicable ; et aussi, sachant bien quel est le domaine dans lequel elle a été appliquée, mieux pressentir dans quel sens on va pouvoir étendre ce domaine ; par conséquent, c'est une méthode de recherche ou du moins une méthode de prudence et de sécurité dans la recherche qui a une grande valeur.

Mais la considération du domaine d'application n'est pas suffisante. Il faut aussi penser au *domaine d'efficacité*. Je vais donner un exemple qui surprendra vraisemblablement — car ce serait la première fois qu'il ne surprendrait pas.

Je vous donne la formule très simple

$$x \in E$$

(x appartient à l'ensemble E)

Quelles sont les conditions d'utilisation de cette formule, quel en est le domaine d'application ? Elle s'applique toutes les fois qu'on remplace x par le symbole d'un être individuel, particulier, et qu'on remplace E par la désignation d'un ensemble.

Par exemple : Sophocle est Athénien ; Athénien est la désignation de l'ensemble des habitants d'Athènes ; la copule, c'est l'appartenance ; j'ai construit une phrase très correcte.

Si j'écris avec Carnap : Napoléon est triangulaire, j'écris une absurdité.

Pourtant j'ai appliqué très correctement cette formule ; je suis dans le domaine d'application de cette formule.

Si j'écris maintenant : la Lune est la Lune, je suis encore dans le domaine d'application, car je puis considérer la Lune comme un ensemble formé de ses éléments, ou comme un ensemble ne contenant qu'un élément.

Si nous regardons ces trois applications, nous constatons d'abord qu'une formule générale peut donner quelque chose de bon, une absurdité, ou une tautologie, qui n'est pas une absurdité mais qui est inefficace.

Les logiciens ont discuté pendant des siècles sur la tautologie, et ce n'est qu'avec la notion d'efficacité qu'on se rend compte pourquoi la tautologie a été exclue des raisonnements qu'on veut efficaces : dans l'usage courant, quand on fait un raisonnement c'est pour progresser dans la connaissance ; un raisonnement c'est un moyen d'action ; ce moyen qu'est la tautologie a été écarté non pas parce qu'il est absurde, mais parce qu'il est inefficace, il n'aide aucune sorte d'action.

Je crois que c'est là un bon exemple pour distinguer le domaine d'application et le domaine d'efficacité, qui est plus restreint que le domaine d'application et qui ne comprend que les raisonnements et les applications de modèles qui font progresser vers la vérité.

Deuxième condition d'efficacité d'un modèle : un modèle est efficace s'il est fonctionnel. *A contrario,* je vais donner des exemples de modèles qui n'ont pas été efficaces, parce qu'ils étaient structuraux.

L'un d'entre eux me concerne personnellement ; en 1942, Louis Lapicque, qui avait été frappé par l'analogie entre la structure du cervelet et la structure d'un clavier de machine à écrire, m'a demandé que nous étudions ensemble les possibilités de mieux expliquer le fonctionnement du cervelet au moyen des structures de machines à calculer.

Nous n'avons abouti à rien, pour la raison très simple qu'il s'agit d'une analogie structurale ; il y a un hasard qui fait que les cellules de Purkinje sont disposées dans le cervelet en colonnes et en rangées et un autre hasard qui fait qu'on a choisi la disposition en colonnes et en rangées pour les claviers des premières machines à calculer, mais cela n'a pas plus de rapport que le fait que la fonction $\frac{x}{y} = a$ représente à la fois le prix du chocolat et la formule d'Einstein pour l'émission des photons ; les deux phénomènes n'ont aucun lien, sauf celui d'être représentés par une même formule.

Revenant sur la théorie de l'information, l'application de la fonction de Shannon à la thermo-dynamique et à l'information est aussi un hasard de rencontre d'une même formule mathématique ; cela n'a, à mon sens, aucune signification. L'analogie qui a consisté pour Shannon à appeler cette fonction « entropie d'information » est un jeu de mots qui malheureusement a lancé sur une voie de recherches complètement fausses des centaines de mathématiciens.

Un autre exemple d'analogie structurale qui a été sans valeur, et M. Wiener aurait pu confirmer la chose, c'est une analogie qu'il a proposée en 1951 au Congrès sur les machines à calculer et la pensée humaine. Il a dit en substance : « Il

y a dans le cerveau des circuits neuroniques qui se bouclent ; il y a dans les machines à calculer (à ce moment-là on les utilisait beaucoup) des circuits qui se bouclent, composés généralement d'une portion de circuit électrique et d'une portion de circuit où circulent des ultra-sons. Par conséquent, le siège de la mémoire dans le cerveau ce sont les circuits neuroniques bouclés ». Le surlendemain, il a été montré, par Lorente de No, que les circuits bouclés n'étaient pas des organes de mémoire et qu'ils avaient une autre fonction.

Moi-même, j'avais montré sur une coupe de substance grise qu'on pouvait faire des liaisons entre circuits neuroniques qui représentaient l'implication.

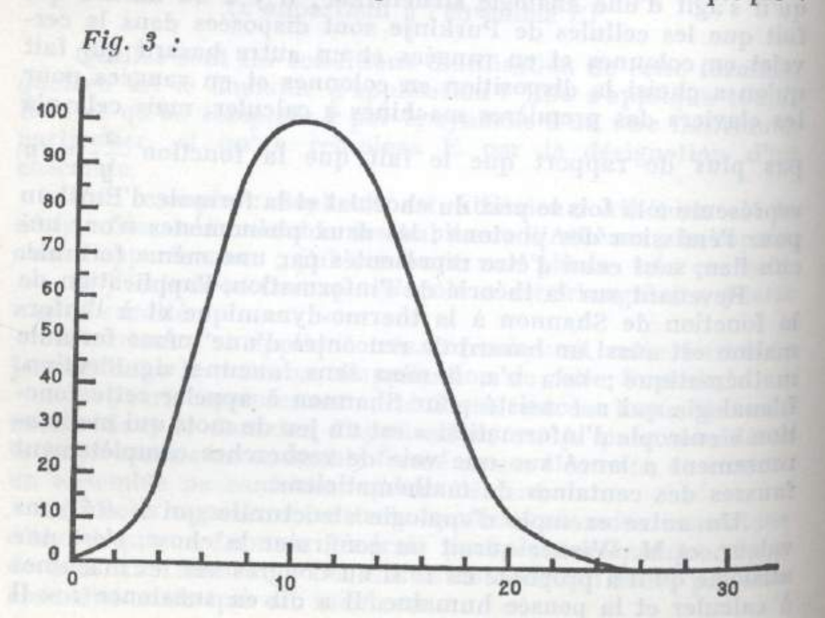
J'en avais conclu que ces circuits étaient le siège du raisonnement implicatif, déductif, dans le cerveau, et Lorente de No m'a répondu également, comme à M. Wiener, que ces circuits avaient un tout autre usage que de réaliser des implications.

Dans deux cas, cette liaison a été inefficace, parce qu'elle était structurale.

Je vais maintenant donner une analogie entre circuit neuronique et circuit nerveux qui s'est révélée très efficace ; c'est parce qu'elle est fonctionnelle.

Nous sommes partis, à l'origine de ces travaux, de l'analogie entre deux phénomènes : l'un est la transmission de l'influx nerveux représenté par la courbe de Louis Lapicque :

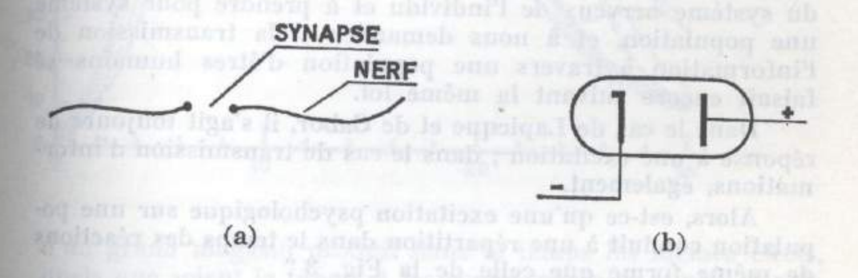
Fig. 3 :



l'autre est la transmission d'une impulsion électrique dans un filtre représentée par la courbe donnée par Gabor, et qui, ramenée aux mêmes échelles que celle de la fig. 3, a presque la même forme.

Nous avons proposé l'analogie suivante : la transmission de l'influx nerveux, même à travers une synapse (je schématise les dendrites par deux points) et la transmission du courant dans un tube électronique, avec une cathode et une anode, suivent la même loi, représentée par la courbe (fig. 3).

Fig. 4 :



(a) (b)

La différence c'est qu'en (a) on a un circuit coupé (les nerfs ne se rejoignent pas à l'intérieur de la synapse) tandis qu'en (b) on a, suivant la terminologie usuelle, des fils réunis par le tube ; mais, regardant de près, on a également ici du vide, les fils ne se touchent pas à l'intérieur d'un tube électronique et on a la même disposition structurale qu'ici, du moins une disposition analogue. A cause du vide nécessaire, le milieu analogue à la synapse est enfermé dans un tube ; en (a) il paraît illimité, mais en fait il y a une zone d'influence dans laquelle peuvent se faire sentir les impulsions d'entrée, et cette zone d'influence constitue aussi une limitation géométrique qui n'est pas matérialisée ; nous avons donc, à l'appui de l'analogie fonctionnelle, une analogie structurale qui paraît intéressante.

Si l'on considère non plus une seule synapse et un seul tube mais l'ensemble constituée par une partie du système nerveux et l'ensemble constitué par un circuit électronique complexe, on a la même analogie, c'est-à-dire deux courbes qui sont sensiblement les mêmes que celle de la Fig. 3. Par conséquent, à une certaine approximation, de 10 ou 15 %, nous trouvons la même représentation graphique, le même modèle des deux phénomènes.

Un ganglion, par exemple, c'est-à-dire un amas de cellules, un système de cellules, et un filtre, c'est-à-dire un système d'éléments électroniques, ont le même fonctionnement.

Si maintenant nous tenons compte que, dans la plupart des cas, un système électronique est destiné à transmettre de l'information, que dans presque tous les cas un système nerveux transmet aussi de l'information, nous pouvons dire que la transmission de l'information à l'intérieur d'un système de cellules nerveuses qui ne sont pas connectées entre elles, et la transmission de l'information à travers un filtre électronique se font suivant la même loi.

L'analogie nous a conduit ensuite à considérer un système où chaque « ganglion » est constitué par la totalité du système nerveux de l'individu et à prendre pour système une population, et à nous demander si la transmission de l'information à travers une population d'êtres humains se faisait encore suivant la même loi.

Dans le cas de Lapicque et de Gabor, il s'agit toujours de réponse à une excitation ; dans le cas de transmission d'informations, également.

Alors, est-ce qu'une excitation psychologique sur une population conduit à une répartition dans le temps des réactions de même forme que celle de la Fig. 3 ?

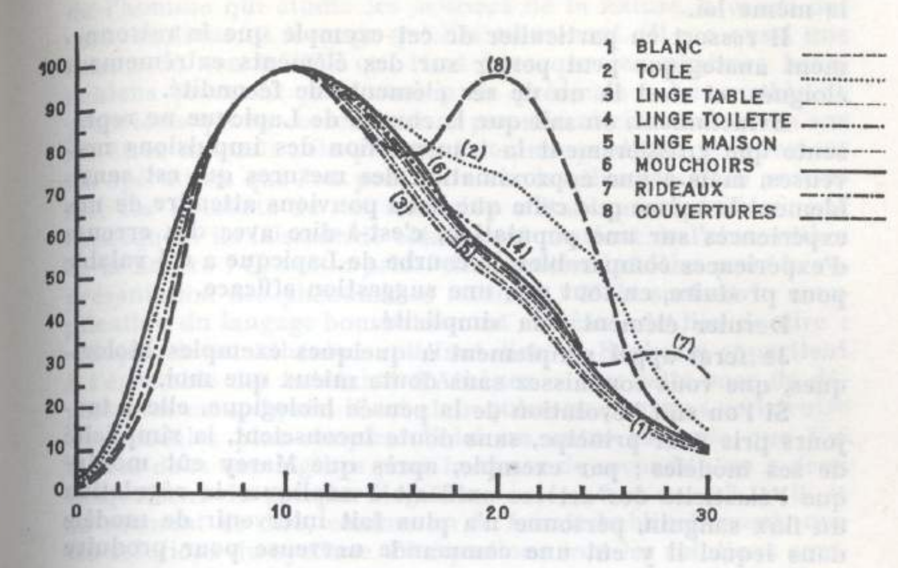
Nous avons pris comme matériel d'essai la population d'un grand magasin, comme excitation une excitation publicitaire, l'annonce d'une vente-réclame, et nous avons mesuré jour par jour le surcroît de ventes dans les rayons considérés. L'expérience a porté sur treize rayons, les huit rayons de blanc, les bas, la parfumerie, les gants et le matériel d'arts ménagers. C'était un matériel de vente très variable. Les durées de la vente-réclame sont également très variables, deux mois pour le blanc, quinze jours pour les arts ménagers, huit jours pour les autres rayons.

Nous avons ramené tout ceci à une même échelle en prenant l'abscisse 10 pour le maximum, qui est très marqué, et l'échelle 100 en ordonnée, de façon à éliminer les contingences de prix, de durée, etc. et nous avons estimé que la courbe résiduelle était la représentation de l'effet de l'excitation psychologique sur la population.

Nous avons trouvé treize courbes dont les ordonnées dans la partie montante ne varient pas de plus de 8 %.

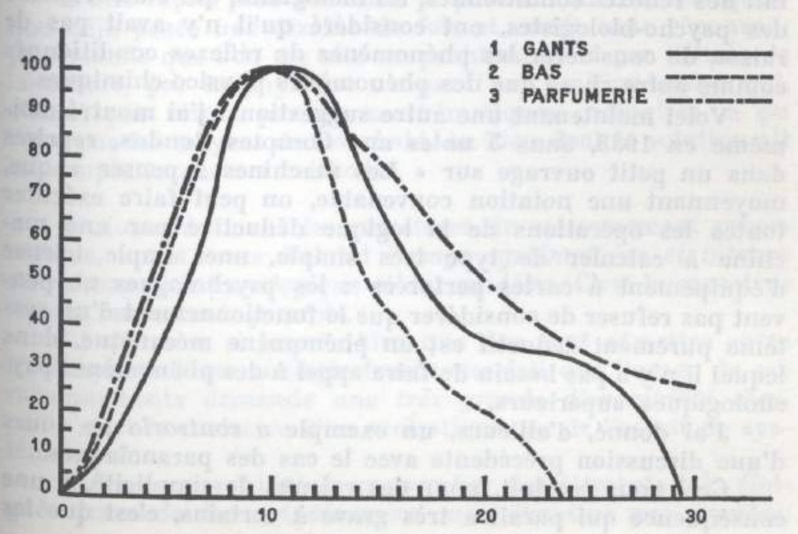
Par conséquent, on peut dire que l'influence d'une excitation publicitaire sur la population constituée par la clientèle

Fig. 5 :



d'un grand magasin produit dans le temps les mêmes effets, quels que soient le rayon et les contingences de vente, et produit un effet représenté par la courbe de Lapicque à 8 % près. On serait même tenté de dire que la transmission de l'infor-

Fig. 6 :



mation par voie auditive ou visuelle dans une population suit la même loi.

Il ressort en particulier de cet exemple que le raisonnement analogique peut porter sur des éléments extrêmement éloignés, et c'est là un de ses éléments de fécondité.

Evidemment, on sait que la courbe de Lapicque ne représente que grossièrement la transmission des impulsions nerveuses, mais à une approximation des mesures qui est sensiblement la même que celle que nous pouvions attendre de nos expériences sur une population, c'est-à-dire avec des erreurs d'expériences comparables, la courbe de Lapicque a été valable pour produire, en tout cas, une suggestion efficace.

Dernier élément : la simplicité.

Je ferai appel simplement à quelques exemples biologiques, que vous connaissez sans doute mieux que moi.

Si l'on suit l'évolution de la pensée biologique, elle a toujours pris pour principe, sans doute inconscient, la simplicité de ses modèles ; par exemple, après que Marey eût montré que l'élasticité des artères suffisait à expliquer la régulation du flux sanguin, personne n'a plus fait intervenir de modèle dans lequel il y eut une commande nerveuse pour produire ce phénomène.

Lorsque Lillie, en 1925, a créé un nerf artificiel qui avait la plupart des propriétés du nerf naturel, aucun biologiste n'a plus considéré qu'il fallait donner à l'influx nerveux une nature autre que celle d'une impulsion électrique.

Lorsque Grey Walter a construit sa fameuse tortue qui fait des réflexes conditionnés, les biologistes, qui étaient même des psycho-biologistes, ont considéré qu'il n'y avait pas de raison de considérer les phénomènes de réflexes conditionnés comme autre chose que des phénomènes physico-chimiques.

Voici maintenant une autre suggestion : j'ai montré moi-même en 1938, dans 3 notes aux Comptes Rendus, reprises dans un petit ouvrage sur « Les machines à penser » que, moyennant une notation convenable, on peut faire exécuter toutes les opérations de la logique déductive par une machine à calculer de type très simple, une simple trieuse d'équipement à cartes perforées : les psychologues ne peuvent pas refuser de considérer que le fonctionnement d'un système purement déductif est un phénomène mécanique, dans lequel il n'y a pas besoin de faire appel à des phénomènes psychologiques supérieurs.

J'ai donné, d'ailleurs, un exemple *a contrario* au cours d'une discussion précédente avec le cas des paranoïaques.

Ceci nous conduit, pour des raisons de simplicité, à une conséquence qui paraîtra très grave à certains, c'est que les algèbres du type bourbakien doivent être exclues du matériel de l'homme qui étudie les sciences de la nature, à cause des complications de langage qu'elles entraînent. (Il y a aussi une raison de non fidélité qui tient à ce que les systèmes bourbakiens prennent pour champ de prédicats un ensemble de propriétés qui ne correspondent pas aux attributs observés sur les êtres naturels ; ils prennent comme prédicats uniquement les opérations que l'on peut faire sur les éléments d'un ensemble, les éléments de cet ensemble n'étant pas spécifiés ; par conséquent ils laissent de côté ce qui provient de l'observation de la nature : ce sont *a priori* des modèles infidèles pour la représentation des phénomènes naturels.) Mais surtout la complication du langage bourbakien est extrême. Au lieu de dire : « Sophocle est Athénien », il faut dire : « Sophocle appartient à l'ensemble des habitants d'Athènes. » Sur cette base de départ plus compliquée, il est clair qu'on ne peut pas construire des modèles plus simples. Voici un autre exemple que j'ai trouvé dans une algèbre pour la classe de seconde : on a deux inéquations du premier degré, $x - 1 > 0$ et $x - 3 < 0$, et au moment de dire, comme on le faisait habituellement, que les solutions du système d'inéquations sont les solutions communes au deux inéquations, on dit : les solutions du système d'équations sont constituées par l'intersection du domaine des solutions de la première équation et du domaine des solutions de la seconde équation. Il est évident que quand on a compliqué ainsi le langage, l'appréhension conceptuelle du modèle ne se trouve pas simplifiée.

D'une façon plus générale, je pose à nouveau une question déjà posée une dizaine de fois et restée sans réponse : je demande que l'on me cite un problème posé par l'étude de la nature, par la physique ou par l'art de l'ingénieur, qui, n'étant pas résolu par les mathématiques ordinaires, a pu l'être par les moyens de Bourbaki, ou bien dont la solution ait été simplifiée par ces méthodes.

Si nous résumons les caractères du raisonnement cybernétique, nous avons d'abord l'*usage systématique et intense du raisonnement analogique et des modèles*. C'est le caractère le plus important, je crois.

La distance, si je puis dire, que l'on peut admettre entre les éléments d'une analogie fructueuse fait que l'usage de ces raisonnements demande une *très grande disponibilité d'esprit ;* c'est le contraire d'un scolastique, ou de l'esprit de système.

Enfin, la possibilité de rapprocher des éléments très éloignés demande des *connaissances aussi étendues que possible,*

mais de type fonctionnel. Un cybernéticien n'est pas un spécialiste ; son activité mentale est de faire des projets et des programmes ; il devient spécialiste quand il s'engage dans l'action pour réaliser ce qu'il a conçu ; mais il a besoin de connaître, et parfois aussi bien qu'un spécialiste, le milieu qu'il veut étudier, cette connaissance étant une connaissance très étendue des fonctions, moins étendue sans doute des structures.

De toute façon, la pensée cybernétique paraît bien caractérisée et les méthodes qu'elle apporte originales.

DISCUSSION

M. LE PRESIDENT HYPPOLITE.

Je remercie très vivement M. Couffignal pour sa très belle et très lumineuse causerie qui a élargi le débat, car cette fois l'information était un peu passée au second plan pour un problème très général d'épistémologie qui pose quantité de questions, qui sur certains points dépasse la suggestion pour atteindre presque le paradoxe. Il ỳ a des points qui ont dû scandalisesr un peu l'auditoire, mais c'est le prix d'un tel exposé qui va nous faire réfléchir, et d'abord nous faire discuter.

M. DE SANTILLANA.

Je remercie M. Couffignal de nous avoir dit pourquoi nous n'avons eu que des déboires en matière d'analogie car il y a un certain point où l'analogie s'arrête

M. FESSARD.

Vous avez dit beaucoup de choses qui m'ont choqué. Notamment vous avez dit, à propos de l'économie que présente l'emploi des modèles, que Lillie a inventé un modèle de nerf artificiel ; cela marchait bien, cela représentait les propriétés des fibres nerveuses ; à partir de là on ne s'est plus posé de question et on s'est dit : l'influx est de nature électrique. Ce n'est pas exact : c'est à partir de là que l'on s'est posé des questions, et on a montré que l'influx est de nature *électrochimique ;* des travaux remarquables ont montré que le nerf de Lillie est un modèle pauvre, insuffisant, et heureusement qu'on ne s'est pas arrêté là.

Je crois que les modèles, dans la mesure où ils ne sont que des modèles, où ils sont abstraits de la réalité, présentent une vue simplifiée de la réalité ; on ne doit pas s'en tenir à

un modèle, on doit chercher à enrichir le modèle sans s'arrêter là.

Si les modèles avaient cette vertu d'arrêter la recherche scientifique, ils seraient très mauvais ; heureusement il n'en est rien.

M. COUFFIGNAL.

Ce que je voulais dire, c'est qu'à partir des expériences de Lillie, on a éliminé une sorte de conception métaphysique de l'influx nerveux.

Jusqu'à ce moment-là, il y avait toute une école de biologistes et de neurologues qui tenait à l'influx nerveux exactement comme, avant Pasteur, on tenait à la génération spontanée. Il a fallu les expériences de Pasteur sur la génération spontanée pour qu'on fasse proprement les opérations chirurgicales ; mais, aujourd'hui, personne n'éprouve le besoin de refaire telles quelles les expériences de Pasteur.

M. FESSARD.

Bien sûr.

M. COUFFIGNAL.

Cela s'inscrit dans l'évolution historique que j'ai signalée; de la même façon, ce que l'on peut tirer des animaux artificiels de Grey Walter, c'est fini ; je rejoins M. Mandelbrot à propos de l'information.

Grey Walter a montré qu'il n'y avait pas besoin de faire appel à de la psychologie supérieure pour expliquer les réflexes conditionnés, qu'il s'agissait de phénomènes purement mécaniques, physico-chimiques, et à partir de ce moment, on a estimé qu'il n'y avait pas lieu de chercher des modèles plus compliqués faisant intervenir des phénomènes supérieurs.

M. FESSARD.

Pour des phénomènes plus compliqués mais du même ordre, on ne peut pas s'arrêter à un modèle aussi grossier que celui de Grey Walter.

M. COUFFIGNAL.

On ne s'arrête pas là, mais une catégorie d'explications se trouve éliminée ; c'est uniquement ce que je voulais dire.

M. FESSARD.

Vous avez dit d'autre part que les analogies structurales n'ont pas de valeur ; cela dépend.

M. COUFFIGNAL.

Oui, je n'ai peut-être pas marqué avec suffisamment de précautions que les analogies structurales sont rarement fécondes ; en tout cas elles le sont beaucoup plus rarement que les analogies fonctionnelles, de telle sorte que, dans l'ensemble, et en tant que méthode de pensée, il vaut mieux chercher des analogies fonctionnelles, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y ait pas de cas où les analogies structurales n'aient pas été fécondes.

M. FESSARD.

Un organe comme le cerveau, en grande partie, fonctionne à cause de ses connexions ; sa structure est déterminante ; elle n'est pas le seul facteur, mais elle est un facteur essentiel, nécessaire pour comprendre son fonctionnement. Il ne faudrait donc pas, dans un modèle de cerveau, se priver des analogies structurales. Vous avez cité le cas du cervelet ; bien sûr, on ne peut pas déduire sa fonction de sa seule structure, mais sa structure est un élément nécessaire ; par exemple la structure du cervelet, très ordonnée, évite que nous fassions des théories basées sur une répartition au hasard des connexions internes : il y a au contraire des noyaux du cerveau qui présentent des collectivités de neurones qui semblent répartis au hasard ; mais là, ce n'est pas le cas. L'étude de la structure a déjà l'avantage d'éliminer certaines hypothèses, et même d'en suggérer d'autres.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

J'avais moi-même bondi un peu au passage sur ces hypothèses tellement simples qui nous dispenseraient d'aller audelà ; alors on pourrait dire que déjà Descartes avec ses esprits animaux et son appareil circulatoire nous avait donné

le principe du mécanisme et que dans ces conditions il n'y avait plus de problème de physiologie. Ayant entendu, étant étudiant, Pavlov lui-même venant expliquer que les réflexes conditionnés s'expliquaient par des ondes d'irradiation et de concentration à la surface du cerveau, il était très simple de supposer que tout se passait à la surface ; depuis, nous avons appris à faire intervenir les régions les plus profondes du cerveau et à comprendre que les moindres réflexes conditionnés faisaient intervenir l'ensemble du cerveau.

De même pendant cinquante ans, nous avons eu quantité de modèles très simples de la croissance et de la division cellulaire ; qu'en est-il resté au bout d'un demi-siècle ou d'un siècle ? Pas grand-chose ; en tout cas cela ne nous a pas dispensé de chercher les lois et le mécanisme profond des phénomènes.

M. COUFFIGNAL.

Je suis profondément persuadé que le raisonnement analogique ne peut donner qu'une suggestion ; il reste ensuite à faire la vérification expérimentale.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

Cette distinction entre les analogies structurales et les analogies fonctionnelles est-elle si bien définie qu'elle en a l'air au premier abord ? Il y a des cas que nous connaissons bien, chez les paléontologistes, chez les naturalistes, avec la fameuse opposition des homologies et des analogies, mais pourquoi des analogies fonctionnelles seraient-elles tellement plus intéressantes que les homologies de structure ? C'est très intéressant de voir comment, avec des matériaux divers, la nature réalise des mêmes fonctions, mais c'est aussi très intéressant de voir comment il y a un certain plan commun à une série d'animaux, une sorte de thème qui permet ensuite de réaliser toutes les fonctions.

Dans la mesure où l'unité de composition est authentique, n'a-t-elle pas son intérêt à côté des convergences physiologiques ?

M. COUFFIGNAL.

Je ne dis pas que non. Ce que j'ai constaté, c'est, dans une certaine masse de raisonnements de type analogique, que les analogies proposées, et qui étaient strictement structurales, se sont révélées infécondes, et que les analogies portant sur la fonction des organes ont été suggestives de quelque chose.

La distinction n'est pas parfaitement nette, sans aucun doute.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

J'ai été frappé de la manière dont vous opposiez à « structural » « fonctionnel » presque au sens mathématique, mais d'un autre point de vue les schémas mathématiques sont aussi des schémas structuraux.

M. COUFFIGNAL.

Il faut s'entendre ; ils sont fonctionnels quand ils représentent un phénomène de la nature ; ils sont structuraux quand ils ne représentent que la structure d'une théorie mathématique.

Je me suis placé ici uniquement dans l'étude des phénomènes de la nature ; la construction d'une théorie mathématique c'est un phénomène indépendant, qui suit d'autres lois.

M. GRENIEWSKI.

Vous avez posé, Monsieur, la question : « Pourquoi les analogies fonctionnelles sont-elles pour nous plus intéressantes que les analogies structurales ? »

Je voudrais d'abord faire une petite remarque ; il n'y a pas de dichotomie ; il y a des analogies qui sont à la fois fonctionnelles et structurales.

Mais la chose n'est pas essentielle ; ce qui me paraît essentiel, c'est que les analogies fonctionnelles représentent un grand intérêt pratique ; par exemple, si nous faisons, et on l'a fait, une analogie fonctionnelle du réflexe conditionné au sens de Pavlov, ce n'est pas intéressant dans ce cas ; est-ce que vraiment, dans un système nerveux d'un homme ou d'un animal, les choses se passent de la même façon, en détail ? L'essentiel est-il que grâce à cela j'ai une méthode pour construire des machines qui vont apprendre ceci avec toutes les grandes conséquences technologiques pratiques que cela comporte ?

Il y a ce qu'on appelle « original » ; je fais une analogie fonctionnelle à l'aide d'un modèle exposé dans le détail et très

bien par M. Couffignal ; quand je construis le modèle, je puis le réaliser, dans le domaine par exemple mécanique ou électrique. Si l'original fait un travail utile, je puis construire un robot grâce à l'analogie fonctionnelle qui le fera aussi.

Le concept de l'analogie fonctionnelle représente une grande valeur pratique ; je ne dis pas que c'est tout le problème, que les analogies structurales sont sans intérêt pratique, je voulais seulement défendre d'un point de vue très spécial la valeur des analogies fonctionnelles.

M. COUFFIGNAL.

Je suis tout à fait d'accord ; une fonction peut être réalisée par un grand nombre de mécanismes, tandis que la considération d'un mécanisme ne fait apparaître qu'un système de fonctions.

Par conséquent, il faut passer par l'aspect fonctionnel pour passer d'un mécanisme à un autre.

M. JUTIER.

Nous risquons de nous embarquer dans une discussion sur les maquettes et les modèles. (Maquette de potentiels classiques avec les analogies entre les potentiels électriques et les écoulements.) Est-ce que c'est fonctionnel parce que c'est structural ? En fait, c'est exactement identique ; on peut, en relevant les points équipotentiels, relever exactement à l'échelle un écoulement potentiel ; c'est le type même du modèle-maquette où la structure et la fonction coïncident, mais c'est peut-être l'exception confirmant la règle.

M. COUFFIGNAL.

Ce modèle a été conçu en passant par le modèle fonctionnel ; il a été conçu par un Américain ; il a été développé en France par M. Pérès ; il est connu sous le nom de calcul rhéostatique. Le départ, c'est de considérer que la mécanique des fluides est régie par l'équation de Laplace, qui est strictement fonctionnelle ; on s'est aperçu que la cinétique électrique était aussi régie par l'équation de Laplace, d'où l'idée de déterminer autour d'une maquette artificielle et de petites dimensions les lignes de courant au moyen d'une cuve électrolytique au lieu de les mettre dans une soufflerie.

M. JUTIER.

Cela restitue cependant la structure de manière très fidèle. Il y a aussi toutes les méthodes dérivées de Bergeron, pour les équations différentielles partielles, qui permettent de calculer les phénomènes d'impulsion. Elles restituent aussi à l'identique la structure ; le modèle est fonctionnel, mais restitue la structure.

M. COUFFIGNAL.

Cela ne restitue pas complètement la structure ; dans le cas du phénomène rhéostatique, vous avez un phénomène qui n'est pas représenté ; par exemple, lorsqu'une ligne de courant vient normalement à un conducteur, le phénomène électrique c'est la fuite du courant, la fuite des électrons, dans le conducteur. Lorsque vous utilisez ceci comme images hydrodynamiques, vous avez une ligne fluide, une masse de molécules, qui vient buter sur le conducteur et qui n'est pas absorbée par elle ; vous avez quelque chose qui n'est pas représenté par le modèle rhéostatique, ce sont les tourbillons qui se produisent au choc de la molécule fluide.

M. JUTIER.

Parce que les tourbillons échappent justement à la théorie du potentiel.

M. COUFFIGNAL.

Mais ceci montre que le modèle rhéostatique est un modèle du phénomène fluide mais pas l'inverse ; il y a analogie entre les deux systèmes mais c'est la cuve électrolytique qui est le *modèle* du phénomène hydrodynamique. Il en possède quelques attributs, des attributs tellement importants qu'on peut calculer le profil d'une aile d'avion à la cuve électrolytique avec autant de sûreté que dans une soufflerie ; mais cela reste un modèle parce que cela n'a pas toutes les propriétés de l'original.

M. JUTIER.

Il restitue la structure dans la mesure où il est correct en tant que modèle fonctionnel, or, on sait bien qu'il n'est pas correct, car il ne donne pas la compressibilité ; il ne faut

pas en attendre ce qu'il ne peut donner ; dans la mesure où il s'agit d'un écoulement potentiel sans frottement, il restitue rigoureusement la structure, et il y en a d'autres comme cela.

M. COUFFIGNAL.

Mais le modèle n'a pas été imaginé en tant que modèle structural ; on lui demande de construire la structure de l'original. Tout était imaginé autour de l'équation de Laplace.

On est passé par le point de vue fonctionnel pour revenir à la structure de l'original. De même, quand on construit un modèle réduit de turbine hydraulique, on passe par une théorie qui est la similitude mécanique, qui permet de faire une correspondance aussi bonne que possible entre les dimensions et les caractéristiques du système constitué par la turbine réduite et du système constitué par la turbine originale. On passe là par un jeu de fonctions représentant le fonctionnement de l'une et de l'autre, ou en tout cas les liant.

M. ROSENBLITH.

Je crois que cette discussion sur la stratégie de modèle se justifie simplement parce qu'on a pris le modèle de la théorie de l'information afin de faire des analogies un peu plus vagues sur le fonctionnement de nombreuses structures complexes, et en particulier du cerveau.

Pour moi, je ne pense pas qu'on puisse donner un livre de règles disant d'utiliser telle ou telle analogie, ou de cesser de l'utiliser.

M. COUFFIGNAL.

Absolument pas.

M. ROSENBLITH.

Les modèles et les analogies sont les plus utiles quand, ayant indiqué des nouvelles questions à poser en expérimentation, ils cessent de représenter l'état des choses de manière satisfaisante.

Aussi longtemps qu'un modèle ne décrit qu'un seul phénomène (ou qu'une classe restreinte de phénomènes), vous n'avez pas grand-chose, surtout si vous avez affaire à des structures très complexes.

Je sais bien qu'il est à la mode de s'occuper simplement d'input et output et des relations entre les deux. Un ensemble de telles données n'est pas difficile à imiter, par des machines à calculer ou un circuit électronique, mais, en général, les structures complexes comme le cerveau sont capables d'un très grand domaine de comportements et quand on essaie de s'intéresser non pas à un seul phénomène mais à un certain domaine, le plus souvent le modèle ou le programme ne marchent plus. Cette situation peut devenir intéressante, pourvu que le modèle en échouant vous ait laissé un héritage de bonnes idées.

Quant à l'opposition des modèles structuraux et des modèles fonctionnels, je veux simplement remarquer en passant que peut-être le modèle le plus réussi du monde était le modèle d'atome de Bohr ; on ne l'a pas encore remplacé par quelque chose qui du point de vue intuitif soit mieux. Mais nous avons affaire ici à une science et à une époque différente. Il nous faut peut-être une stratégie et une tactique mixtes. Ainsi nous pourrons tantôt nous rabattre sur les phénomènes (et les fonctions) et tantôt sur les structures. Il nous faut probablement les deux parce qu'on ne peut espérer réussir l'analyse d'un système complexe en mettant en jeu des phénomènes sans structures ou des structures sans phénomènes.

Pour terminer, je n'ai aucune compétence pour me prononcer sur l'enseignement de la mathématique bourbakienne, mais, personnellement, je m'élève contre toute stratégie de la pédagogie qui dit : enseignons seulement les choses qui seront utiles.

Qui peut nous dire aujourd'hui les mathématiques qui seront utiles d'ici vingt ans ?

M. GRENIEWSKI.

C'est un jeu aussi.

M. COUFFIGNAL.

Je suis tout à fait de votre avis ; de tout temps on a laissé la pleine liberté aux mathématiciens de construire les théories qu'ils désiraient, et de tout temps les mathématiciens ont laissé la pleine liberté aux non mathématiciens d'utiliser les parties de ces théories qui pouvaient servir ; mais actuellement nous sommes dans une situation différente, car les mathématiciens de l'éco.e moderne veulent imposer une certaine

mathématique à l'exclusion des autres. Et, en particulier, ils veulent exclure les mathématiques qui jusqu'à présent ont servi à tout le monde et ont servi à faire toutes les découvertes de la physique et de la science.

Le problème n'est pas du tout celui de laisser la liberté aux mathématiciens de créer les théories qu'ils veulent ; le problème est de savoir s'il faut enseigner à tout le monde, même à ceux qui ne peuvent pas les comprendre, des mathématiques dont on sait qu'elles n'ont servi à rien jusqu'à présent et dont on a de fortes raisons de présumer qu'elles ne serviront pas dans l'avenir, ou bien s'il faut enseigner les mathématiques qui servent, qui ont servi et qui continuent à servir, en laissant, à titre culturel peut-être, la liberté d'apprendre les autres. Le problème est posé actuellement, depuis quinze ou vingt ans, sous un jour tout à fait différent de ce qu'il était à l'époque de Poincaré.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

Nous concèderons tous à M. Couffignal qu'il serait imprudent de laisser une seule école régenter tout l'enseignement. Des mathématiques présentées de façon seulement axiomatique, formaliste, abstraite, risqueraient de stériliser ; c'est le procès de toute orthodoxie. Une orthodoxie intuitioniste serait aussi dangereuse.

M. LE PRESIDENT HYPPOLITE.

Je crois que nous sommes d'accord avec M. Rosenblith. Je prends néanmoins la parole parce que je ne comprends pas la distinction entre analogie fonctionnelle et structurale. Voici pourquoi : j'ai le sentiment qu'à toute analogie fonctionnelle, c'est-à-dire à toute similitude de fonctions correspond une question : Quelle est la structure invariable qui rend possible la similitude des fonctions quand nous réussissons un modèle ? et je remarque en passant que ce mot a complètement changé de sens par rapport à Platon, au lieu d'être un paradigme, un vrai modèle, c'est un exemple qu'on crée, un modèle n'est pas l'idée sur quoi le phénomène se règle aujourd'hui, un modèle est une réalisation pragmatique d'un phénomène.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

Je ne suis pas d'accord, mais cela ne fait rien...

M. ROSENBLITH.

Il y a quand même une différence entre modèle mathématique et modèle physique.

M. LE PRESIDENT HYPPOLITE.

Dans Platon et dans la langue courante, le modèle est une sorte d'idée à l'imitation de laquelle les phénomènes qui se réalisent dans l'Univers se présentent, tandis qu'au contraire pour nous la réalité est là et le modèle est une sorte de réalisation particulière, concrète, qui imite les phénomènes au lieu que les phénomènes l'imitent.

Quand vous découvrez quelque chose qui est fonctionnellement semblable à un phénomène, cela veut dire qu'il doit y avoir une structure invariante qu'il faut découvrir.

M. ROSENBLITH.

Il y a une multiplicité de structures possibles qui sont capables d'exhiber le même phénomène.

M. LE PRESIDENT HYPPOLITE.

Dans cette multiplicité, il y a une structure de ces structures, quelque chose d'invariant.

Je me demande si en fin de compte il n'y a pas une mathématique qui serait le modèle de tous les modèles, qui étudierait en général et comme type de correspondance non pas *un* modèle particulier mais le modèle des modèles, le modèle de toutes les correspondances et de toutes les structures possibles, avec leurs invariants.

Or, quand il y a une analogie fonctionnelle, il y a des structures complexes différentes ; mais il faut bien, puisqu'il y a une similitude de fonction, que du moins nous nous posions la question de savoir comment on peut faire correspondre la structure qui donne lieu à telle fonction et l'autre structure qui donne lieu à une même fonction, il faut bien nous poser la question de l'invariant structural qui est derrière la diversité des structures ; nous nous posons la question des correspondances entre structures.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

La question est très importante.

M. ROSENBLITH.

Ce que vous avez dit, c'est tout à fait juste dans le sens que, comme nous l'a dit Poincaré, quand il y a un modèle il y a une quantité de modèles. Mais pour le système complexe qu'a mis en cause M. Couffignal, il peut y avoir une multiplicité de comportements. Si l'on prend un seul exemple du comportement, on aboutit à une multiplicité de structures qui sont capables de mettre en évidence cette fonction, ce qui pourrait amener un mathématicien à se demander quelle est la superstructure de toutes ces structures.

M. LE PRESIDENT HYPPOLITE.

L'invariant.

M. ROSENBLITH.

Mais dans le système « réel », cela veut dire dans le système naturel que nous sommes en train d'étudier, il y a multiplicité de caractères fonctionnels. Ainsi se résout la dégénérescence de la superstructure, puisque, du moment que vous élargissez votre champ des phénomènes, il y a certaines sous-classes de structures qui, bien qu'elles soient capables de maintenir le premier comportement, ne sont plus capables de maintenir toute la gamme de comportements. C'est à ce point de vue-là que la stratégie du mathématicien (qui pourrait être intéressé dans la classe des classes) diffère de la stratégie de l'homme des sciences expérimentales qui est limité par les structures qu'il examine aussi bien que par les fonctions auxquelles il s'intéresse.

M. COUFFIGNAL.

Je ne crois pas avoir dit qu'il fallait négliger ce que l'on sait de la structure de l'original dans l'étude que l'on veut en faire. Mais il s'agit de construire un modèle et un modèle qui soit suggestif de quelque chose. L'expérience montre que si l'on s'en tient aux structures, on construit un robot, on a une imitation, mais jamais un robot n'a permis d'avancer dans la connaissance. Ce qu'il faut, c'est d'abord, pour avoir sur le fonctionnement de l'original quelques idées nouvelles, construire un modèle qui réalise les fonctions de l'original. Si

ses fonctions sont vraiment analogues à celles de l'original, les limitations imposées à l'original lui sont imposées aussi ; par conséquent le respect de la structure de l'original entre dans l'analogie elle-même. Et une fois le modèle créé, soit sous forme abstraite comme dans le premier exemple que j'ai donné sous forme mathématique, soit sous forme physique, on le fait fonctionner, on le transforme et on regarde, on s'aperçoit qu'il a suggéré quelque chose de nouveau ou bien qu'il n'a rien suggéré de nouveau ; mais je crois que la recherche se fait toujours de cette façon.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

Est-ce que nous ne compliquons pas les choses en employant le mot structure en deux sens différents, structure anatomique concrète matérielle, et structure formelle (ressemblant à des analogies fonctionnelles, à des structures fonctionnelles). Les ondes et les corpuscules, par exemple, ce sont deux structures, deux explications structurales et d'un certain point de vue incompatibles, au sens courant, mais il y a un formalisme conciliateur et commun qui est aussi une structure, qui est justement le formalisme de la mécanique ondulatoire.

Nous sommes d'accord si nous disons qu'il y a deux sortes de structures, et cela s'applique aussi bien aux mots « modèle mathématique » et « modèle fonctionnel ». C'est pourquoi j'avais demandé tout de suite des explications à M. Couffignal.

M. MACKAY.

La plus grande partie de ce que je voudrais dire a été dite par M. Rosenblith ; je suis d'accord avec lui, mais je voudrais ajouter deux choses : Il me semble qu'il y a une différence entre deux manières d'approcher ce problème ; la manière de celui qui imite et manipule et la manière de celui qui comprend.

Pour manipuler une situation, il suffit souvent d'avoir un modèle fonctionnel, comme les épicycles de Ptolémée, pour décrire et prévoir les mouvements des planètes : c'est un modèle fonctionnel. Mais si l'on veut comprendre, la véritable question me semble non pas la ressemblance entre le fonctionnement du modèle et celui de la situation, mais que faire quand cela ne marche pas ?

La qualité d'un modèle se mesure à son aptitude à indiquer ce qu'il faut faire quand les données ne correspondent pas aux prévisions du modèle.

La construction d'un modèle complexe comporte des étapes ; on doit commencer avec des notions un peu vagues, on fait des expériences, puis on raffine.

Il me semble que M. Couffignal devrait analyser davantage la question : par quelle *méthode de construction* pourrons-nous facilement savoir que faire au niveau où les prévisions du modèle ne vont pas ?

M. COUFFIGNAL.

Ce problème-là, j'en ai parlé incidemment ; d'une part en disant que le modèle est efficace s'il suggère quelque chose de nouveau ; vous vous placez dans la situation où il ne suggère plus rien ; il n'y a qu'une solution, il faut en changer.

M. MACKAY.

Dans quelle direction ?

M. COUFFIGNAL.

C'est un résultat de l'imagination du chercheur ; il y en a qui trouvent de nouveaux modèles efficaces et d'autres qui cherchent toute leur vie sans rien trouver ; c'est un phénomène de l'imagination propre à chaque individu.

M. MACKAY.

C'est là que la structure intervient, c'est votre connaissance de la structure nourrie par votre imagination qui pourra discipliner cette imagination dans une direction donnée.

M. COUFFIGNAL.

Sans aucun doute ; c'est ce que nous avons dit il y a un instant ; le choix des fonctions que l'on va mettre dans un nouveau modèle doit respecter ce que l'on sait de la structure de ce modèle ; c'est la structure qui commande le fonctionnement et, ce que l'on sait actuellement du fonctionnement, on doit en tenir compte, le faire entrer dans le modèle. Seulement le modèle ne peut pas, en général, contenir même tout ce que l'on sait, et il y a un choix à faire ; ce choix, si on le fait sur le plan purement structural, en général cela ne donnera rien ; il faut le faire sur le plan fonctionnel en respectant les contraintes imposées par la structure.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

Alors il y a un accord parfait ; M. Rosenblith a signalé qu'un modèle n'était jamais aussi intéressant que quand il ne réussissait pas, et M. MacKay demande ce qu'il faut faire quand il ne réussit pas, s'il faut changer complètement la manière de voir, si au lieu de corriger la structure il faut s'inspirer uniquement de la fonction.

M. COUFFIGNAL.

En construisant un modèle qui respecte les structures ; lorsqu'on construit un modèle agrandi d'un balancier d'une montre de dame qui fait 1,8 mm dans sa plus grande longueur et qui en général est étudié à l'échelle 50, on tient compte de la structure générale pour étudier le fonctionnement en liaison, entre l'ancre et le balancier, d'une certaine courbe par laquelle ils vont se rencontrer.

C'est la fonction de cette courbe au point de vue mécanique qui guide la recherche ; mais elle respecte les dimensions générales qu'on est obligé d'imposer à la pièce pour la faire entrer dans la montre.

C'est la distinction que je fais entre la fonction, le fonctionnement et la structure.

Une question a été évoquée à un certain instant, à laquelle je n'ai pas pu m'attacher suffisamment : il y a également une question de temps qui intervient.

Dans l'idée de fonctionnement et dans l'idée de mécanisme, il y a l'idée de temps. Cette question-là, en général, on l'oublie dans les modèles ; l'importance de cette question dans toute la connaissance, Gaston Berger s'y est attaché et l'avait mise en évidence nettement : Il y a des phénomènes liés au temps et dont on oublie de tenir compte ; ils sont également importants. Dans cet ordre d'idées la durée d'une recherche a de l'importance, et un procédé qui demande de remonter à des théories trop abstraites n'est pas efficace, parce qu'en gé-

néral il demande trop de temps, et il y a des procédés plus simples pour résoudre la même question.

C'est un des aspects de l'intervention du temps et de l'élimination des modèles très abstraits au profit de modèles plus concrets.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

Il doit maintenant y avoir des séances de travail ; dois-je conclure *a contrario* que ce que nous avons fait jusqu'ici n'était pas du travail ?

(*Rires.*)

Je demande, avant de conclure, de ramasser un pavé que M. Couffignal a jeté dans mon jardin.

Vous avez parlé des logiques combinatoires qui ont rendu inutiles les autres logiques ; si effectivement la logique formalisée, mécanisée, est une logique qui occupe maintenant le centre de notre réflexion, cela ne nous dispense pas de réfléchir sur les problèmes de métalogique, sur les conditions psychologiques de ces problèmes, et d'une façon générale sur toute l'activité logique ; pas plus que l'existence du nerf artificiel de Lillie, ne nous dispensait de réfléchir sur la nature profonde de l'influx nerveux, mais je n'ai pas l'impression d'un profond désaccord.

M. COUFFIGNAL.

Ce sont des problèmes qui sont au cœur de la réflexion philosophique, mais qui sont des épiproblèmes pour l'utilisateur des théories dans l'étude de la nature ; voilà la différence que je fais entre les deux.

M. LE PRESIDENT POIRIER.

Tout à fait d'accord ; il me reste à remercier M. Couffignal qui a si bien parlé, qui a donné lieu à cette discussion intéressante, et tous ceux qui y ont pris part.

ASPECTS DU PROBLEME DE REDUCTION EN SCIENCE DU POINT DE VUE DE LA THEORIE DE L'INFORMATION

(*Résumé*)

ALBERT PEREZ, LADISLAV TONDL
Académie Tchécoslovaque des Sciences, Prague
(Communication préparée pour le Colloque)

Le présent travail a été inspiré par la nécessité d'éclaircir certains aspects du problème de réduction en science, dont l'importance fondamentale est sans doute accrue dans la science contemporaine. La pensée de faire appel pour cela à la théorie de l'information s'explique dans une certaine mesure par le succès déjà obtenu et par les perspectives encore plus riches, offertes par l'application des notions et des méthodes de cette théorie dans le problème de réduction des données, dont la conception et le développement de l'appareil mathématique approprié sont dûs à l'un des auteurs [1, 2, 3]. Etant donné que tout système naturel faisant l'objet de la science ne peut être que *relativement* isolé, il est clair que toute base de réduction *finie* ne peut servir comme telle que pour une sphère donnée des phénomènes, sous un ensemble donné de conditions, pourvu que soit donné le degré d'approximation concernant l'explication, la prédiction, ou d'autres procédures scientifiques, qu'on pourrait comprendre sous le nom de *procédure de décision* dans le sens le plus large du mot, y compris le processus de conclusion. C'est la mise en rapport de cette problématique, traitée du point de vue philosophique notamment dans les références [4, 5, 6], avec la conception ci-dessus de la réduction des données, faisant appel à la théorie de l'information, qui

fait l'objet de notre travail. Il ne sera pas inutile, dans ces conditions, de faire ressortir dès maintenant les idées directrices de cette dernière conception.

Les tendances réductrices dans les processus de décision de toute nature ont leur origine dans le fait naturel que les « capacités », les « mémoires » et les « délais » de toute sorte, disponibles pour la transmission, conservation et élaboration des données nécessaires pour la prise adéquate de décision, sont toujours limités. En conséquence, le problème constamment se pose de réduire au maximum les données en question, au maximum compatible avec un degré donné d'approximation ou, si l'on veut, avec une qualité donnée de décision. Intuitivement parlant, en analysant une action ou activité organisée, on peut distinguer entre décision et conclusion. Cette distinction n'a qu'une importance très limitée, puisque dans presque tous les cas d'une telle activité, émanant soit d'un être humain ou d'une société humaine, soit d'un dispositif technique d'une perfection suffisante, etc., les procédures de décision et de conclusion se confondent ou se pénètrent mutuellement. C'est d'ailleurs pourquoi le modèle formel de ces deux procédures peut être élaboré de la même façon, de sorte que la conclusion apparaisse comme cas spécial de décision. Si la tendance est, en effet, d'épargner les données dans la mesure du possible, il va de soi que, dans le même ordre d'idées, il faut chercher à optimaliser la procédure de décision (fonction de décision) dans le cadre du problème de décision considéré, pour pouvoir exploiter au maximum les données disponibles. Dans le cas de conclusion, on suppose ordinairement comme donnée aussi la procédure assurant, pourvu que les données disponibles soient suffisantes, que la conclusion satisfasse aux critères d'exactitude logique et de validité. Mais en admettant la possibilité de l'existence d'autres procédures de conclusion (dans un sens plus large du mot que le sens précédent) pouvant amener à des conclusions fausses relativement aux critères ci-dessus, il est possible de considérer la procédure de conclusion, amenant à une conclusion vraie, comme optimum par rapport aux critères considérés, exactement de la même façon qu'une procédure de décision ne peut être jugée comme optimum que par rapport à certains critères d'optimalité, pouvant être, en général, aussi bien objectifs que subjectifs. Par la suite, pour exprimer la qualité d'une procédure de décision ou, si l'on veut, pour exprimer la mesure dans laquelle une telle procédure est adéquate dans le cadre d'un certain problème de décision, nous allons faire appel à la notion de « risque » dans le sens le plus large du mot, comprenant en particulier

la notion de « degré d'approximation », que nous permet d'atteindre la procédure de décision en question.

Rappelons quels sont les éléments fondamentaux dans le modèle abstrait de décision. A titre d'illustration, nous évoquerons au cours de notre exposé le modèle diagnostique et celui des communications. On a, tout d'abord, ce qu'on pourrait appeler « espace ou ensemble des messages ou des situations ou des états possibles à l'entrée ou à l'émission », brièvement « *espace d'entrée* », pour la notation duquel nous allons utiliser le symbole X. Par le symbole x seront désignés les éléments de l'espace X, c'est-à-dire, les « messages » ou « situations » ou « états » individuels à l' « entrée ». Dans le modèle diagnostique, X représenterait l'ensemble des différentes maladies ou états pathologiques (y compris, éventuellement, l'état de santé) entrant en considération dans la population considérée. On a ensuite ce qu'on pourrait appeler « espace ou ensemble des signaux ou des états ou des échantillons (samples) possibles à la sortie ou à la réception », brièvement « *espace de sortie* », que nous noterons par Y, tandis que par y seront désignés ses éléments. Dans le modèle diagnostique, Y représenterait l'espace des symptômes, c'est-à-dire, l'ensemble des « valeurs » possibles que le « symptôme » observé (dans le sens abstrait du mot) peut obtenir dans les conditions considérées. On a ensuite ce qu'on pourrait appeler « espace ou ensemble des décisions ou des messages à la réception », brièvement « *espace des décisions* », que nous noterons par D, tandis que par d seront désignés ses éléments, c'est-à-dire, les décisions individuelles. Dans le problème classique des communications, où la tâche consiste à identifier (détecter, décoder) aussi bien que possible à la réception le message émis sur la base du signal reçu, l'espace D des décisions représente le plus souvent un sous-ensemble convenablement choisi de l'espace X des messages à l'émission, pouvant coïncider avec X dans le cas où on exige une précision d'identification absolue, en particulier (cas discret). Dans le cas du modèle diagnostique, D pourrait coïncider avec l'espace X des maladies ou avec l'ensemble des procédures de traitement se trouvant à la disposition du médecin. Un autre élément fondamental entrant dans le modèle abstrait de décision c'est ce qu'on appelle « *espace des fonctions ou procédures de décision* », que nous noterons par B. Chaque élément $b \in B$ représente une procédure permettant de faire correspondre à chaque signal reçu $y \in Y$ une certaine décision $d \in D$. Dans le modèle des communications, chaque fonction b représenterait une des façons possibles de détection ou décodage. Dans le modèle

diagnostique, chaque b représenterait une des façons possibles de diagnose, relatives à une population donnée, à un ensemble donné des procédures de traitement disponibles et à un ensemble donné de moyens d'observation des symptômes. Le problème de décision se ramène ainsi au choix de la fonction de décision b dans l'ensemble B des fonctions de décision possibles de façon à satisfaire certains critères d'optimalisation, sur la base d'une mesure appropriée permettant d'apprécier dans quel degré ce choix est adéquat. Il est souvent possible que cette appréciation se fasse au moyen de ce qu'on appelle « *fonction de poids ou de perte* » $w(x,d)$, attribuant une certaine « perte » (poids, distance) à chaque paire (x,d), où $x \in X$ est l'état ou le message effectivement réalisé à l'entrée et $d \in D$ est la décision prise. Il est naturel d'admettre que moins adéquate est la décision d prise par rapport à l'état réel x, plus grande (dans le sens large du mot) devra être la « perte » $w(x,d)$ correspondante. Dans le cas où d est complètement adéquat à x, la « perte » $w(x,d)$ obtient ainsi sa valeur minimum que nous pourrons prendre égale à zéro.

Ceci étant le cas, on pourrait se demander pourquoi il est nécessaire d'introduire la fonction de décision comme notion fondamentale, puisqu'il suffirait pour chaque état x réalisé de prendre une décision d annulant la perte correspondante. La raison en est que cette façon de procéder suppose, d'une part, que l'espace des décisions D est suffisamment riche et, d'autre part, que l'état x actuellement réalisé à l'entrée est directement observable, ce qui n'est pas, en général, le cas. En général, l'espace d'entrée X est observé à travers un « canal de communication », ou « *canal d'observation* », interpolé entre espace d'entrée et espace de sortie, lequel seul est directement accessible à l' « observation ». Comme on le sait, un tel canal introduit en général un « bruit » (possibilité d'erreur) qu'on peut représenter en faisant correspondre à chaque état $x \in X$ à l'entrée (« entrée du canal ») une distribution des probabilités $P_{Y/x}$ sur l'espace Y de sortie (« sortie du canal »). Le cas idéal (cas de discernabilité parfaite) serait alors celui où on pourrait partager l'espace Y de sortie en un nombre d'ensembles disjoints F_x, $x \in X$, de façon que $P_{Y/x}(F_x) = 1$ pour chaque $x \in X$. Ainsi, si le signal reçu y appartient à l'ensemble F_x, il est (presque) sûr que x est le message (état) réalisé à l'entrée. La fonction de décision optimum pourrait alors être celle qui fait correspondre à chaque $y \in Y$ une décision d minimise la perte $w(x,d)$, où x est l'indice de l'ensemble F_x auquel y appartient. On voit donc que même dans le cas de discer-

nabilité parfaite (cas exceptionnel) on ne peut, en règle générale, éviter de faire appel à la notion de fonction de décision, si on veut décider d'une façon optimum, même si on se borne à décider seulement dans un cas individuel.

Pour compléter l'énumération des éléments fondamentaux entrant dans le modèle abstrait de décision nous devons encore introduire la « *distribution des probabilités a priori* » P_X sur l'espace X d'entrée, qui, dans le langage diagnostique, par exemple, exprime la fréquence relative d'apparition des différentes maladies dans la population considérée. La distribution *a priori* P_X à l'entrée X du canal engendre ensemble avec le système $\{ P_{Y/x}, x \in X \}$ des distributions des probabilités conditionnelles, définissant ce dernier, ce qu'on appelle « *distribution des probabilités double* » (« source double ») sur le produit cartésien $X \times Y$, que nous noterons par P_{XY}. Dans le langage diagnostique, par exemple, P_{XY} exprime la fréquence relative d'apparition des différentes paires maladie-symptôme, qui dépend, évidemment, d'une part, de la population considérée (« source d'information », et, d'autre part, du canal d'observation des symptômes dans le sens le plus large du mot.

A l'aide des éléments que nous venons d'énumérer, nous sommes maintenant en mesure de formuler le problème abstrait de décision, sur la base duquel nous allons ensuite formuler le problème de réduction des données. Si X est l'espace d'entrée, Y l'espace de sortie, D l'espace des décisions, B l'espace des fonctions de décision, P_X la distribution a priori $\{P_{Y/x}, x \in X\}$ le canal d'observation (dans le sens le plus large du mot), P_{XY} la distribution double respective et si, enfin w est la fonction de poids ou de perte, le problème de décision consiste à choisir une fonction de décision $b_o \in B$ optimum, dans le sens que la valeur moyenne $r(b_o) = M\,[w(x,b_o(y))]$ de la perte respective, appelée *risque* (moyen), soit minimum, pourvu que ce choix soit possible.

Il est possible d'envisager d'autres définitions du choix de la fonction de décision optimum, mais nous ne le ferons pas ici, étant donné que l'essence de notre raisonnement resterait le même.

En nous plaçant dans le cadre de la définition du modèle de décision, essayons maintenant de caractériser brièvement les traits essentiels du problème de réduction des données, conformément au programme que nous avons adopté au début. Qu'est-ce que nous entendons ici par le mot « données » ? Nous entendons tout d'abord la donnée des espaces X,Y,D,B. Nous entendons ensuite la donnée de la loi des probabilités P_{XY} ou de la distribution a priori P_X et

du canal d'observation $\{P_{Y/x}, x \in X\}$. Nous entendons ensuite la donnée de la fonction de poids ou de perte w. Nous entendons enfin les données statistiques, surtout les résultats d'« observation » ou « mesure » (dans le sens le plus large du mot) dans l'espace de sortie Y, mais aussi, éventuellement, des données statistiques « observables » (avec un certain retard) dans l'espace d'entrée X, et même des données statistiques concernant les « pertes » subies dans le passé comme résultat des décisions prises. Ce sont les données statistiques qui nous permettent de compléter plus ou moins, suivant leur richesse, les données des autres catégories, lesquelles pourraient être au départ plus ou moins incomplètes et hypothétiques. Il est clair qu'au fur et à mesure que les données se complètent, il est possible d'améliorer la fonction de décision. Evidemment, la mise en valeur des données de toute sorte (expérience) ne pourrait s'accomplir sans des connaissances ou des données (éventuellement hypothétiques au début) concernant, en particulier, les lois limites de la théorie des probabilités et leur applicabilité dans le cas concret considéré.

Concentrons maintenant notre attention sur les possibilités de réduction des données dans l'espace Y de sortie. Dans le langage diagnostique, il s'agit de la réduction des symptômes, sur la base desquels est réalisable une certaine diagnose. Il s'agit encore, si l'on veut, de la réduction des paramètres, sur la base desquels est possible une certaine prédiction, etc. Supposons, par exemple, que le symptôme complexe Y considéré (on désigne le symptôme par le spectre ou ensemble de ses valeurs abstraites discernables ; on le désigne d'une façon équivalente par la σ- algèbre respective de sous-ensembles mesurables ou « événements aléatoires » de l'espace de sortie Y, convenablement choisi) est représenté par le doublet de deux symptômes partiels Y_1 et Y_2 : $Y = (Y_1, Y_2)$. Dans le langage de σ- algèbres, Y_1 et Y_2 seraient représentés par des σ- algèbres plus restreintes que celle de Y, contenues dans cette dernière. Supposons que, dans le cadre du problème de décision considéré, r_o est le risque minimum qu'on peut obtenir en décidant sur la base du symptôme complexe Y, r_1 celui obtenable en décidant seulement sur la base du symptôme partiel Y_1 et, enfin, r_2 celui obtenable en décidant seulement sur la base du symptôme partiel Y_2. Il est clair que r_1 et r_2 ne peuvent en aucune façon être inférieurs à r_o. Supposons que, par exemple, r_1 est égal ou négligemment supérieur à r_o. Dans ces conditions, il est clair que dans le cadre du problème de décision envisagé il est possible de réduire le symptôme complexe Y au symptôme partiel Y_1 (en ignorant le symptôme partiel Y_2)

sans que pour cela la qualité de décision obtenable soit plus mauvaise qu'auparavant. On voit ainsi que cette façon de procéder nous fournit une base solide pour la réduction des données et pour la recherche des « paramètres essentiels » dans l'ensemble des paramètres accessibles, puisqu'elle est étroitement liée à des procédures de décision optimalisées par rapport à des critères de la pratique.

L'exemple que nous venons de considérer peut nous servir pour illustrer un autre aspect de réduction consistant à la réduction des données, établies par certains moyens, à des données établies par d'autres moyens. Supposons, par exemple, que le symptôme partiel Y_1 ci-dessus est de caractère biologico-physiologique et le symptôme Y_2 de caractère biochimique ou chimique. De cette façon nous abordons le problème des « *niveaux* » et de leurs rapports mutuels, c'est-à-dire, le problème des phénomènes appartenant aux formes différentes de mouvement de la matière et de leurs rapports mutuels, sur lequel nous aurons l'occasion par la suite de faire quelques remarques en rapport avec le problème de réduction des données. Pour le moment considérons la partie formelle de ce problème et supposons plus concrètement que les risques minima r_o, r_1 et r_2, introduits ci-dessus, sont à peu près égaux. Dans ces conditions, il est possible d'admettre que dans le cadre du problème de décision considéré (diagnose) les symptômes partiels Y_1 et Y_2 sont non seulement « interchangeables », puisque chacun d'eux peut représenter leur doublet, constituant le symptôme complexe Y ($r_1 \simeq r_o$ et $r_2 \simeq r_o$), mais aussi équivalents ($r_1 \simeq r_2$).

Parmi les autres éléments du problème de décision qui pourraient faire l'objet d'une réduction, considérons maintenant l'espace D des décisions, lequel peut d'ailleurs coïncider avec un sous-ensemble de l'espace d'entrée X (pouvant devenir égal à X) sans préjudice à la généralité. Comme nous l'avons constaté plus haut, ceci est notamment le cas dans le problème des communications, où l'espace des messages à la réception (espace des décisions) constitue, en général, un sous-ensemble de l'espace des messages à l'émission. Notons à ce propos que la possibilité plus ou moins grande de codage de ce dernier espace à l'entrée du canal de communication fait en sorte que dans ce cas nous devons distinguer entre l'espace des messages à l'émission (source d'information), pour lequel nous conservons le symbole X, et l'espace d'entrée du canal de communication ou espace des signaux à l'émission, que pour le distinguer du précédent nous le notons par Z. Il est clair que la possibilité de codage permet de réduire davantage le risque dans le problème de décision

considéré (et le problème de transmission d'une source d'information à travers un canal de communication n'est au fond qu'un problème de décision avec possibilité plus ou moins grande de codage), que si on avait accès seulement au choix du décodage (fonction de décision). Quoi qu'il en soit, on peut voir facilement que toute réduction de l'espace des décisions entraîne nécessairement un accroissement (dans le sens large) du risque minimum obtenable, à condition bien entendu que tous les autres éléments du problème de décision considéré restent inchangés. Il est, d'autre part, évident que pour une puissance K donnée de l'espace des décisions (nombre des éléments de l'espace des décisions), il existe toujours un choix optimum de cet espace (comme sous-ensemble de l'espace X, en particulier) au sens que le risque minimum obtenable en utilisant des fonctions de décision prenant leurs valeurs dans cet espace des décisions (fonctions de décision de puissance K) soit minimum. On peut poser la question de réduction de l'espace des décisions aussi dans le sens inverse : quelle est la puissance K minimum de l'espace des décisions (supposé choisi d'une façon optimum) compatible avec une valeur du risque ne dépassant pas un niveau donné r_o. C'est ce que dans le travail [1] nous appelons « puissance infimale de décision dans le sens (w,r_o) », $K(w,r_o)$. Dans le même ordre d'idées, on peut voir qu'indépendamment de tout canal, chaque source d'information peut dans des conditions très générales être caractérisée par sa « *puissance absolument infimale de décision dans le sens* (w,r_o) », notée par $K_o(w,r_o)$, qui comme dans le cas précédent représente la puissance de l'espace des décisions le plus réduit, compatible avec une représentation de la source permettant d'atteindre la qualité de décision considérée. La notion dérivée (dans le cas des processus stochastiques évoluant dans le « temps ») de « *débit absolument infimal de décision* », noté par R_o, permet d'ordonner les différentes sources d'information quant à leur transmissibilité : quand une source d'information est transmissible dans un sens déterminé à travers un canal de communication donné, il en est de même pour toute source d'information ayant un débit absolument infimal de décision correspondant inférieur. Les considérations ci-dessus, relatives aux possibilités de réduction de l'espace des décisions, notamment, la notion de l'espace des décisions le plus réduit compatible avec une qualité donnée de décision, qu'on pourrait appeler « *base minimale de décision ou de réduction* », respectivement, « *groupe caractéristique de la source* » (dans le cas, où D est un sous-ensemble de X), vont trouver plus loin

leur application dans l'esquisse d'un modèle gnoséologique du point de vue de la réduction, auquel nous avons fait allusion plus haut en relation avec le problème des « niveaux ».

Il nous faudra cependant, avant, indiquer très brièvement certains résultats (voir références [1, 2, 3]) concernant l'importante question de l'ingérence de la *notion d'information* elle-même dans le problème de réduction qui nous occupe. Comme on le sait, si P_{XY} est la distribution double sur le produit cartésien des espaces mesurables (X,S_X) et (Y,S_Y) d'entrée et de sortie, respectivement, où S_X et S_Y représentent les σ - algèbres de sous-ensembles de X et Y, par rapport auxquelles sont mesurables les éléments aléatoires X et Y d'entrée et de sortie, respectivement, l'information $I(S_X, S_Y, P_{XY})$ apportée par X sur Y (ou inversement) est toujours non-négative, prenant la valeur zéro si, et seulement si, les éléments aléatoires X et Y sont indépendants. Toute réduction des σ - algèbres S_X et S_Y entraîne, comme on devait s'attendre, une diminution de l'information respective, sauf si les nouvelles σ - algèbres (plus petites) sont « suffisantes ». Ceci est, en particulier, le cas, quand les éléments aléatoires X et Y sont bi-univoquement transformés en des éléments aléatoires X' et Y', respectivement, comme on devait s'y attendre. Par ailleurs, on connait bien les propriétés de l'information ainsi définie en rapport avec les questions de discernabilité toutes les fois qu'une certaine condition de stabilité informationnelle (propriété E généralisée, etc. ; voir [1]) est remplie. C'est surtout en rapport avec ces propriétés que la notion d'information joue un rôle important dans les questions de transmissibilité-décisibilité et par cela même on obtient une justification encore plus approfondie de son introduction.

Les propriétés de l'information nous ont conduit depuis longtemps [3] à l'idée de la faire servir comme *base pour une mesure rationnelle et universelle de la dépendance stochastique* entre les éléments aléatoires considérés. On remarquera cependant que l'information en question est symétrique, tandis que la notion de dépendance a un caractère *asymétrique :* la dépendance de X sur Y n'est pas nécessairement égale à la dépendance de Y sur X. Pour qu'on puisse mesurer la dépendance stochastique d'un élément aléatoire sur l'autre (les éléments aléatoires étant de nature quelconque, pas nécessairement numérique) il faut que leur information mutuelle soit relativisée par rapport à l'information qui serait nécessaire pour déterminer à la précision voulue les valeurs réalisées du premier d'entre eux. Dans le cas, par exemple, où le spectre des valeurs possibles de l'élément

aléatoire X est fini et où l'on désire les déterminer parfaitement (sans erreur), l'information nécessaire pour cette détermination sera égale à l'entropie $H(X)$ respective, de sorte que la *mesure de dépendance informationnelle* de l'élément aléatoire X sur l'élément aléatoire Y, notée par $z(X,Y)$, prendra la forme $z(X,Y) = I(X,Y)/H(X)$, où par $I(X,Y)$ nous désignons brièvement l'information mutuelle. On voit que $0 \leq z(X,Y) \leq 1$, où la première égalité a lieu si, et seulement si, X est indépendant de Y, et la seconde égalité est valable si, et seulement si, X est déterminé (presque sûrement) par Y. Il va de soi que si l'information nécessaire pour déterminer à la précision voulue Y est plus grande que celle pour X, alors X dépendra de Y plus que Y dépendra de X, ce qui reflète l'asymétrie de la notion de dépendance. Comme nous allons voir plus loin à propos du modèle gnoséologique mentionné, de cette façon peut, en particulier, s'expliquer pourquoi l'action des mouvements atomiques (niveau microscopique) sur les lois du niveau macroscopique est de beaucoup plus importante que l'action des lois du niveau macroscopique sur les lois des mouvements atomiques. Il suffit pour cela de faire correspondre Y au niveau microscopique (plus grande σ- algèbre, ce qui signifie que Y est considéré avec plus de détails, microscopiquement) et X au niveau macroscopique. D'une façon analogue, on peut sur la base de la mesure informationnelle de dépendance expliquer le passage d'une loi déterministe (dynamique) à une loi statistique, et inversement, suivant la sphère des phénomènes considérée, l'ensemble des conditions envisagée et le degré d'approximation (« risque » dans le sens large du mot) donné.

Nous ne voulons pas nous étendre ici sur l'extension de la définition de la mesure informationnelle de dépendance dans le cas plus général des processus évoluant dans le « temps ». Notons seulement que pour cela on fait appel, d'une part, à la notion de débit d'information, R, et, d'autre part, à la notion de débit absolument infimal de décision, R_o, mentionnée plus haut. Pour la théorie relative, qui est en train de se développer plus loin, nous renvoyons le lecteur aux références [1, 2, 3]. Ce qui est important dans le cadre de nos considérations relatives au problème de réduction, c'est qu'ayant à notre disposition une mesure rationnelle et universelle de dépendance stochastique, notamment la mesure informationnelle de dépendance, nous sommes à même de résoudre le problème de réduction des données sans avoir besoin, pour chaque version particulière de cette réduction, de résoudre auparavant le problème de décision cor-

respondant pour contrôler si le risque correspondant ne dépasse pas le niveau donné, cas dans lequel il faudrait alors rejeter cette version de réduction. Etant donné qu'en général il y a un nombre très grand de telles versions qu'il faudrait essayer, on comprend bien l'importance de cette remarque. Le calcul et la comparaison des mesures informationnelles de dépendance respectives peut nous amener au but au prix d'un travail beaucoup moins important. C'est ainsi que la réduction pourra continuer aussi loin que la mesure informationnelle de dépendance ne commencera pas à décroître sérieusement. Il va de soi que la procédure inverse (*constitution des données*), qui consiste à élargir la sphère des données (en ajoutant par exemple des paramètres supplémentaires) en vue de faire tomber le risque correspondant au-dessous d'un certain niveau ou, ce qui revient au même, en vue de faire accroître la mesure informationnelle de dépendance, par exemple, à l'unité (dépendance déterministe), peut se faire à l'aide du même appareil. Remarquons à ce sujet que les tendances réductrices et constitutives sont seulement en apparence contradictoires. Dans le travail effectif, qu'il s'agisse de la science ou de l'activité pratique, ces deux tendances se pénètrent mutuellement et se complètent. C'est pourquoi par exemple la réduction ne signifie pas seulement un rétrécissement de la sphère des données empiriques, mais aussi un élargissement de cette sphère par de nouveaux types de données, pouvant par exemple s'établir au moyen d'autres procédures, et cela en règle générale sur la base de l'étude et l'appréciation des rapports entre données de différents types. La réduction a dans ce sens aussi un caractère stimulateur et l'étude des possibilités de réduction, comme aussi des avantages et des risques liés à elle, peut conduire à la découverte de nouveaux phénomènes, de nouveaux rapports encore inconnus entre différents niveaux et différentes formes de mouvement de la matière. Nous passons ainsi à l'esquisse gnoséologique mentionnée plus haut.

Les considérations sur les problèmes de réduction, concernant la constitution, faites sur la base du modèle de décision, peuvent en effet contribuer à l'éclaircissement de la structure des lois naturelles et des opérations avec ces lois (explication, prédiction, etc.). En ce qui concerne la structure de ces lois, il est nécessaire de signaler qu'à l'issue de nos raisonnements est l'idée du caractère infini et inépuisable du monde objectif dans le sens de la philosophie scientifique, ou, ce qui revient au même, la conception d'une « infinité qualitative de la nature », laquelle a été formulée par D. Bohm [6] en ce qui concerne la problématique de la

physique. Ceci signifie que nous refusons tout esprit de mécanicisme dans la science, qu'il soit du type déterministe ou indéterministe. L'insuffisance du mécanicisme en science, par rapport au problème, et le rôle de la réduction dans les processus de décision et de conclusion dans la science, consiste avant tout dans les hypothèses ci-dessous, qui sont en contradiction avec l'évolution jusqu'à présent de la science et qui, dans la science moderne, peuvent freiner le progrès scientifique : (1) hypothèse de l'existence d'une base de réduction finie et constante, valable pour tous les domaines de la nature ; (2) hypothèse de la possibilité d'une réduction absolue et exhaustive sur cette base ; (3) hypothèse selon laquelle chaque nouveau domaine du monde est également réductible sur la base de réduction en question. (Autrement dit, les changements de notre tableau scientifique de l'univers ont seulement un caractère quantitatif.)

Le défaut du mécanicisme ne consiste pas, et de loin, en la reconnaissance du fait essentiel de l'inévitabilité de la réduction, mais dans la conception bornée et étroite et, en fin de compte, dépréciative de la réduction. C'est pourquoi la réfutation du mécanisme ne signifie pas la réfutation de la réduction *a limine*, mais elle suppose, à notre avis : (1) la reconnaissance de la relativité de toute base de réduction ; (2) la reconnaissance du caractère probabiliste des procédures de réduction (et de constitution) dans le cadre des processus de décision et de conclusion en science ; (3) la reconnaissance de la possibilité de changements non seulement quantitatifs, mais aussi qualitatifs de notre tableau scientifique du monde. Ceci signifie aussi qu'en abordant un nouveau domaine de l'univers, il n'est pas possible d'exclure la possibilité de contradictions dans la science (voir [5]). Du point de vue de la philosophie scientifique il est indispensable de reconnaître, en effet, la relativité de la réduction dans le cadre d'une sphère donnée des phénomènes, d'un certain ensemble de conditions et d'un certain degré d'approximation, c'est-à-dire, dans le cadre du problème de décision considéré, si on veut utiliser la terminologie introduite précédemment, à propos du problème de réduction des données. Il est possible d'ailleurs de voir que le modèle abstrait de réduction introduit précédemment pour la solution de ce problème est en plein accord et en pleine correspondance avec les principes énoncés ci-dessus. Ce modèle peut d'ailleurs s'élargir pour faire apparaître explicitement le rôle joué par ce que nous avons appelé « ensemble des conditions ». En bref, nous partons d'un espace M, représentant l' « univers de discours », et de trois σ - algèbres

A,B,C, de sous-ensembles de cet espace, représentant respectivement l' «entrée », la « sortie », et les « conditions », dont le choix correspond à la nature et au degré de « détail » avec lequel ces éléments sont considérés. Il est alors possible de définir, comme précédemment, des mesures de dépendance informationnelle, mais dans lesquelles maintenant l'information mutuelle entre deux de ces éléments, A et B, calculée à partir d'une distribution initialement donnée sur M, sera *conditionnée* par la présence du troisième, en particulier de C. Dans le cadre de ce modèle on peut suivre parfaitement et formuler précisément les manifestations de la relativité de réduction et de constitution dans les processus de cognition. C'est ainsi qu'en changeant la sphère des phénomènes étudiés, autrement dit, le système relativement isolé, en changeant les conditions et le degré d'approximation, il peut changer aussi le tableau des entités essentielles constituant la base de réduction optimum ou, si l'on veut, le tableau des paramètres essentiels. Ceci peut encore s'exprimer à l'aide de la notion de « chose », laquelle suppose une certaine autonomie du système considéré, qui ne peut être que relative d'après ce que nous venons de dire. L'univers donc ne se compose pas de « choses » absolument isolées, sans que cela empêche qu'à l'aide des notions de « choses » ou d' « entités » on puisse obtenir une approximation de la réalité objective (voir [4]). Les notions de système relativement isolé et d'autonomie relative sont aussi liées à la possibilité de stratifier les phénomènes naturels en des niveaux différents, suivant les conditions et le degré d'approximation considérés. Par le changement des conditions (de la σ - algèbre C, introduite ci-dessus) il est possible de découvrir de nouveaux niveaux à l'intérieur des niveaux déjà connus (raffinement des σ - algèbres A et B), y compris la découverte de lois nouvelles impliquant des entités nouvelles. Dans ces conditions, il est clair que la mesure informationnelle de dépendance peut changer, ce qui peut entraîner le passage d'une loi déterministe à une loi statistique et inversement, comme nous l'avons constaté à propos de l'introduction de cette mesure de dépendance.

Le fait que les procédures de réduction en science n'ont qu'un caractère relatif et qu'il n'est pas possible d'établir une base de réduction finie et universelle, nous permet d'apprécier certaines conceptions sur les rapports entre données empiriques et théoriques. C'est ainsi que certaines tentatives positivistes de construire une telle base universelle, interprêtée souvent dans un sens subjectiviste-empiriste, se sont montrées stériles. Il est intéressant de signaler que certains

partisans d'une réduction ainsi conçue, laquelle a atteint son expression classique en la conception logique des soi-disant propositions de réduction (reduction sentences), ont été obligés d'abandonner cette conception. De ce point de vue, est typique l'introduction de la notion de « open concept » par A. Pap [7], laquelle indique la possibilité de réduction relative dans le sens probabiliste.

Etant donné que les problèmes de réduction et constitution ont un rapport très étroit avec la sémantique, il est possible d'appliquer la conception de réduction basée sur le modèle de décision dans la solution de certains problèmes sémantiques.

Références :

[1] A. Perez : Sur la théorie de l'information et la discernabilité dans les problèmes de décision statistique (*Trans. of the Second Prague Conference ou Information Theory*, 1959, Prague 1960).

[2] A. Perez : *Dépendance stochastique et information* (à paraître).

[3] A. Perez : Notions généralisées d'incertitude, d'entropie et d'information du point de vue de la théorie des martingales (*Trans. of the First Prague Conference on Information Theory*, 1956, Prague 1957).

[4] L. Tondl : « Rôle cognitif de l'abstraction » (Problèmes méthodologiques et philosophiques de l'abstraction scientifique, Moscou 1960, en russe).

[5] L. Tondl : « Analyse et explication causale » (Sur la méthodologie des sciences expérimentales, Prague 1959, en tchèque).

[6] D. Bohm : *Causality and Chance in Modern Physics*, London 1957.

[7] A. Pap : *Semantics and Necessary Truth*, Yale University Press, 1958.

Prague, le 31 mars 1962.

INFORMATION ET CONNAISSANCE DE L'INDIVIDUEL

par G. G. GRANGER,
Faculté des Lettres et Sciences humaines, Rennes
(Invité à faire une communication, n'a pu venir)

1. Pour une conception spéculative de la science, selon laquelle le sujet connaissant se pose en pur spectateur, l'aspect individuel de chaque phénomène soulève un problème qui est cavalièrement résolu. Ou bien l'on énonce alors qu'il n'y a point de science de l'individuel, — celui-ci n'étant qu'un déchet, une sorte de scorie accidentellement précipitée par l'opération d'extraction des essences ; la science est alors un miroir ne reflétant que les formes pures du monde. Ou bien l'on annonce, à côté de la science, peut-être au-dessus d'elle, une connaissance des individus qui serait saisie immédiate, adéquate et ineffable. Dans l'un et l'autre cas il n'y a point de *science* de l'individuel.

Une coupure aussi radicale entre le concept articulé et les modalités concrètes du phénomène a, bien entendu, un sens et une valeur comme moment nécessaire du développement de la pensée scientifique ; moment négatif, par rapport à l'attitude accueillante, mais vague, de notre pratique empirique vulgaire à l'égard des êtres et des choses. Toutefois, cette réduction désinvolte de l'objet scientifique aux essences marque d'une plaie secrète la science triomphante. Et c'est ce point douloureux que ses détracteurs n'ont cessé de meurtrir, soit qu'ils essaient de faire passer la science pour un simple jeu de langage, soit qu'ils en dénoncent la sécheresse au regard de ce qu'ils nomment l'existence.

2. Or, s'il est bien vrai qu'on ne saurait concevoir, à proprement parler, de science de l'individuel, une idée non spéculative de la science permet cependant de poser le problème en termes nouveaux. Connaître scientifiquement, c'est

établir un modèle structural de certains phénomènes, que cette description constitue comme objets ; mais une telle réduction de l'expérience vécue ne nous conduit point aux *essences* des choses : elle nous fournit des projets de contrôle et d'intervention, en même temps qu'elle se développe sur le plan abstrait en une combinatoire réglée. En tant que construction abstraite cohérente, elle relève des mathématiques au sens le plus large et le plus essentiel ; en tant que projet d'intervention, elle débouche nécessairement sur des situations individuées. Pour qui admet que toute science ne se trouve confirmée que comme moment d'une pratique, elle ne peut éluder indéfiniment ce problème du contact avec l'individuel. Comment s'effectue le passage des structures aux situations pratiques vécues, tel est le sens de la question posée par la possibilité d'une connaissance de l'individuel. Sans doute ne saurait-on s'attendre à pouvoir définir une science structurale de l'individu ; mais une philosophie de la connaissance devrait pouvoir déceler et analyser les modes d'adaptation de l'outil structural à sa fin véritable, qui est l'intégration dans une pratique, et par conséquent le traitement concret de l'individuel.

Qu'est-ce, pour la science, que l'individuel ?

3. Réfléchir sur cette notion n'est pas facile, puisqu'elle se présente à nous comme cet aspect de l'expérience qui se refuse à l'analyse. D'une certaine manière, l'individu résiste au langage, en ce qu'il est d'abord purement et simplement *désigné*. Les signes qui s'y réfèrent ne fonctionnent que comme *indices* révélant une existence (1), non comme expressions proprement dites, renvoyant à un réseau de relations. L'individuel, c'est le vécu apparemment incommunicable comme tel. L'art littéraire, de ce point de vue, est une technique des indices, qui, du langage, fait un usage diamétralement opposé à celui qu'en fait le mathématicien. C'est pourquoi on ne saurait appliquer sans précaution à l'usage esthétique du langage l'analyse informationnelle. Une phrase littéraire n'est pas essentiellement, et en tout cas pas seulement, véhicule d'information. Car elle propose au lecteur des indices d'expériences individuelles, dont l'ensemble ne saurait être constitué en un lexique déterminé ; il n'y a pas alors *a priori* de canevas informationnel, et tout se passe bien, pour reprendre la métaphore saussurienne, comme si l'on jouait aux échecs, mais *sans échiquier*... Sans doute pourrait-on cependant retrouver ici la possibilité d'une des-

cription informationnelle, mais en se plaçant à un niveau infra-linguistique, peut-être au niveau sensorimoteur, le « libre jeu » kantien de l'imagination esthétique se déroulant à partir d'un substrat de communication parfaitement structuré et soumis aux lois d'une « physique » de la réception et de la transmission des messages, substrat qui ne fait pas partie du contenu manifeste du discours.

Ces remarques sur l'usage esthétique du langage ne sont qu'apparemment éloignées de notre projet, car on observera que tout usage effectif du langage participe plus ou moins de la condition que nous venons de décrire. Un progrès du langage n'est possible que dans la mesure où le canevas informationnel est *ouvert*, c'est-à-dire partiellement indéterminé, et l'on ne peut guère imaginer les commencements du langage d'autre façon que comme un jeu d'indices renvoyant à des expériences, qui ne sont justement déterminées et découpées qu'au fur et à mesure du développement social de la parole. Le langage enfantin, sur le plan du sens, est d'abord un ensemble d'indices : il n'est à proprement parler un système informationnel que sur le plan de son infrastructure phonétique : une analyse structurale phonologique montre qu'il l'est déjà, en effet ; une analyse séméiologique montre qu'il n'est encore, au contraire, qu'un agrégat fluctuant d'indices pour des situations vécues (2).

4. A l'extrême opposé de l'échelle liguistique, le langage formalisé des mathématiques nous fournit un contre-exemple. Dans un tel langage, l'individu n'apparaît que comme symbole de l'arbitraire d'un contenu, neutralisé pour ainsi dire dans ses effets. Dans les *Principia* de Russell, c'est telle proposition ou tel élément d'un ensemble, ou telle classe, comme une sorte d'atome de signification dont on convient de ne pas pousser plus avant l'analyse. Le discours logique n'est possible en somme que par cette réduction de l'individuel. Mais le problème de l' « identité » des individus logiques est alors posé, et résolu, en termes leibniziens : deux objets sont identiques lorsque toutes les propriétés de l'un sont aussi propriétés de l'autre. On comprend que l'axiome de réductibilité permette de donner un sens univoque à cette définition ; mais on n'a peut-être pas suffisamment observé les conséquences de la réciprocité qui les lie. Toutes les propriétés d'un objet peuvent être ramenées à des propriétés de même niveau, selon l'axiome. Wittgenstein a parfaitement compris la question, en rejetant d'une part l'axiome — auquel il reproche de se rapporter à un contenu d'expérience et donc de n'être vrai, s'il est vrai, que « par un hasard heureux » (*Tractatus*, 6 132 et 6 133) —, et d'autre

part la définition de l'identité, dont il dit qu'elle ne saurait être une relation entre objets. (55301.) Il veut pouvoir dire — même si une telle proposition devait être toujours fausse — que *des* objets ont mêmes propriétés, puisqu'une telle proposition ne viole nullement les règles de signification du langage ; il refuse en revanche comme un non-sens l'expression : deux objets sont identiques, et considère par ailleurs comme tautologique — c'est-à-dire vide de tout contenu — l'expression : un objet est identique à lui-même.

Prenant à notre compte cette critique de Russell, nous croyons pouvoir en déceler le fondement dans la nécessité de rejeter l'axiome de réductibilité pour donner un sens à l'individuel.

5. C'est en effet dans la mesure où *différents types de propriétés sont irréductibles* que l'individu est autre chose qu'un simple point abstrait dans le canevas informationnel d'un discours ; c'est dans cette mesure et en ce sens que toutes les sciences ne se réduisent pas aux mathématiques, et qu'une dialectique pratique de la connaissance se superpose à la dialectique interne des structures abstraites. S'il en est bien ainsi, l'individuel échappe à une science unitaire ; sa présence se traduit par la nécessité d'un processus de multiplication des points de vue, des niveaux d'analyse, des modes de structuration. Mais on se gardera d'en tirer un constat d'impuissance de la pensée formelle. Pour Wittgenstein, qui postule et proclame — du moins dans sa première philosophie — l'impossibilité logique d'un discours à plusieurs niveaux, le contenu du monde échappe à la science, qui n'est qu'un langage correct, mais dont les lois symboliques reflètent, il est vrai, la structure transcendantale des faits. Tout espoir de prévision fondé sur la causalité, et donc apparemment tout espoir d'intervention rationnelle, n'est alors que « préjugé » (5.1361). L'action, comme l'expérience individuée, demeure enfermée dans l'ineffable. Une telle conception figure l'un des culs-de-sac où mène une philosophie spéculative, conduite par un génie rigoureux. Chemin qui ne va nulle part, et d'où l'on ne tarde pas à découvrir l'impossibilité même du discours philosophique, qui, ne pouvant que *parler d'un discours* scientifique, lequel parle, lui, du monde, n'est jamais qu'un pseudo-discours, et sait tout au plus exprimer qu'il n'exprime rien.

Si l'on veut en sortir — et, sans doute, aucune démonstration ne nous y contraint, alors même que notre expérience naïve assure que nous sommes déjà hors du cercle que nous avons nous-même tracé, — il faut renoncer à l'univers plat de cette logique horizontale, admettre une certaine

polyvalence du discours. C'est s'engager du même coup dans une perspective dialectique, où tout commence par s'obscurcir, et où la connaissance ne peut plus être indéfiniment écartée de la pratique. Reprenons de ce point de vue la question de l'individuel.

6. En tant que thème d'une connaissance scientifique, le phénomène tel que nos sens et nos instruments nous le donnent peut être considéré comme un « message ». Il est à peine besoin de dire que nous prenons ici ce mot en un sens strictement dépouillé de toute implication mystérieuse, qui est celui de la théorie des communications. La connaissance scientifique propose un canevas informationnel, une grille ; le phénomène est message en ceci qu'il permet de remplir les cases de la grille, avec plus ou moins de constance et plus ou moins de sécurité. Renversant la métaphore, on pourra dire tout aussi bien que la théorie scientifique effectue un *codage* du phénomène. On observera que, dans une philosophie nominaliste, ce codage est réputé totalement arbitraire par rapport à ce qu'il est censé coder ; chez Wittgenstein, il n'est pas arbitraire, car il reflète la structure *a priori* des faits, régissant d'ailleurs aussi bien la constitution de tous les mondes possibles ; mais il est unique et statique, donnant une fois pour toutes et intemporellement la figure de tout univers. Il nous semble au contraire que ce codage est à la fois descriptif, explicatif et stratégique, déterminé et déterminant par rapport à une expérience vécue. Entrevoir le comment de ce rapport, tel est le rôle et le sens d'une philosophie dialectique de la connaissance.

Si pour la science le phénomène est message, il ne l'est que par la vertu du processus de codage, et le code n'est pas tout préparé dans la chose transcendante que nous expérimentons, ni dans le sujet existant que nous sommes, ni dans un prototype universel de toute subjectivité. Il dépend d'une disposition du sujet à l'égard du monde, il est lui-même produit, ayant une histoire, un passé, un avenir. Mais il n'est efficace pour la connaissance active que parce qu'il se donne provisoirement comme *a priori*, comme définissant transcendantalement un objet, rendant non équivoque et souveraine la distinction du vrai et du faux, à un niveau déterminé de la pratique humaine.

7. Dans ces conditions, l'individuel s'introduit comme *redondance* du message phénoménal dans le cadre du codage adopté. Celui-ci détermine les classes d'équivalence, ou si l'on veut des seuils d'indifférence pour la variété du phénomène. Chaque élément défini par la grille du code se présente dans l'expérience comme surdéterminé. Ces surdéter-

minations, qui sont négligées comme redondantes du point de vue du code, n'en sont pas moins *vécues comme significatives* dans l'expérience. Mais significatives de quoi ? C'est cette interrogation qui est le moteur d'une dialectique de connaissance de l'individuel.

On pourrait alors penser que le processus ainsi mis en route se poursuit simplement sous la forme d'un *raffinement* toujours plus poussé des critères d'indifférence. Des grilles successives toujours plus fines seraient établies, faisant apparaître de nouveaux détails. On admettrait alors qu'un terme extrême puisse être atteint, une nature individuelle simple ; mais cette individualité pure, incomparable et incomposée, est une fiction métaphysique qui semble se détruire elle-même, dans la mesure où, plus que tout autre chose, elle évoque l'anonymat et la répétition.

On pourrait aussi postuler que ce raffinement du réseau peut être indéfiniment poursuivi, et que l'individuel soit comme le point limite d'une suite de grilles toujours plus fines, sans que jamais cette convergence soit effectivement réalisée. C'est l'hypothèse leibnizienne d'inexhaustibilité dans le fini des prédicats de la substance.

Cette conception, plus satisfaisante que la première, ne nous semble pourtant pas rendre compte des processus réels de la pratique scientifique. Nous constatons en effet que le raffinement des grilles de codage du phénomène, qui se traduit par des changements d'échelle de l'objet scientifique, s'interrompt toujours, lorsqu'il est très poussé, par un éclatement décisif. Cet effet épistémologique est aujourd'hui trop connu pour qu'il soit besoin d'en rappeler ici des exemples. Il nous enseigne en tout cas que le processus de raffinement des grilles n'est pas en général un processus convergent, puisqu'il conduit, plus ou moins rapidement, à une transformation radicale de la grille elle-même. Il convient donc de définir autrement la trace de l'individuation du phénomène dans la démarche scientifique.

8. L'individu se manifeste donc comme variété non répertoriable du phénomène, mais cette inexhaustibilité n'est pas, en quelque sorte, unidimensionnelle. Nous postulons qu'elle peut être saisie — nous ne disons pas épuisée —, non par le raffinement d'une grille de codage (par l'approfondissement d'un point de vue), mais par la *multiplication* de grilles irréductibles. C'est une propriété du monde, ou plus exactement de notre rapport objectif avec le monde, que cette « polysémie » des choses. Chaque science prise séparément met entre parenthèses cette modalité de l'existence concrète ; mais à l'intérieur même de la région d'objectivité qu'elle s'est constituée, une approche de l'individuel se présente encore comme recoupement de divers codages. Empruntons, s'il est permis de le faire sans équivoque, le langage de la Topologie ; nous dirions que l'individu est décrit comme « point adhérent » d'une multiciplité de « filtres », sans que l'ensemble de ces filtres puisse être « ordonné totalement » par inclusion, et sans qu'il existe « d'ultra-filtre » convergent plus fin que chacun d'eux.

Une telle conception aurait peu de sens, si le processus de la connaissance était considéré comme simple contemplation et imitation d'une Nature donnée, qu'elle soit idée ou phénomène. Elle serait en tout cas purement négative, l'individu, ce qui est donné dans chaque expérience concrète, n'apparaissant plus que comme ce qui rend inadéquat tout essai pour le saisir. Si la connaissance est au contraire pensée comme le moment abstrait d'une pratique qui l'enveloppe et la prolonge, le processus de multiplication des grilles révèle sa positivité : c'est une démarche progressive, préparant le moment proprement pratique où la connaissance se mue en intervention. L'articulation des deux moments, le passage de l'attitude de réduction structurale à l'attitude tactique, nous l'avons nommé ailleurs, non sans paradoxe, il est vraï, « histoire », comme analyse des situations.

Il est bon d'insister sur le caractère de contradiction dialectique révélé par le point de vue informationnel dans cette approche de l'individuel. Car tout canevas d'information suppose, comme on l'a vu au § 7, une réduction de l'individuel à un certain seuil d'indifférence. Elle définit des *marques* dont sont porteurs des éléments du phénomène, considérés par ailleurs comme substituables, indiscernables, équivalent *modulo* à une certaine transformation. Transformation qui peut, et doit, être parfaitement définie *opératoirement,* mais qui n'est jamais *structuralement* explicitée : elle constituerait précisément alors une connaissance spéculative de l'individuel (3).

Dans la phase structurale de la connaissance rationnelle l'individu constitue une totalité ouverte, qu'elle réduit aux totalités closes des systèmes informationnels. Et c'est l'entrecroisement de ces systèmes et leur superposition à des niveaux distincts qui fournit la seule voie d'approche rationnelle de l'individuel.

On pourrait donc conclure ces observations en disant que la notion d'individu n'est pas à proprement parler une catégorie de la connaissance, mais une catégorie de la pratique ; notre conception de la science nous évitant, cependant, d'en inférer hâtivement qu'il n'y a, en aucun sens,

science de l'individuel. S'il est, au contraire, le pôle pratique de l'objet scientifique structural, nous devrons maintenant esquisser, sur quelques exemples, la démarche scientifique qui constitue un traitement informationnel de l'individuel.

Le traitement informationnel de l'individuel.

9. En termes d'information, le problème du traitement de l'individuel peut être ainsi posé : comment décrire et transmettre *tout* ce qui est nécessaire *pour une action déterminée ?* On peut considérer dans cette perspective qu'une première forme en est donnée par le problème du repérage. Définir et déceler un « individu » dans un ensemble, telle est la question qui se pose au zoologiste classificateur, tout comme au documentaliste. Des travaux récents ont été effectués dans le sens d'une rationalisation des solutions à construire (4). Il s'agit toujours d'établir des batteries de tests correspondant à la multiplicité des systèmes informationnels qui s'entrecroisent. Chaque test découpe l'ensemble à explorer en classes d'équivalence, et l'on peut mesurer l'information qu'il apporte en fonction de la finesse de cette division (5). On montre que l'information maximale serait apportée par un test ou une batterie de tests découpant la population en classes de populations égales. Il se peut cependant que des sous-familles de tests fournissent la même quantité d'information que cette famille optimale ; dans ce cas, la sous-famille minimale, si elle existe, définit une procédure économique d'*identification* des « individus ».

On peut envisager d'autre part l'*homogénéité* des classes découpées par chacun des tests, relativement aux tests restants. En général, si l'on applique aux sous-classes déterminées par un test l'un des tests restants, la quantité d'information obtenue n'est pas la même que si l'on avait appliqué d'abord ce test à l'ensemble de la population ; en un langage plus vague, mais plus intuitif, les sous-classes ne se comportent pas à l'égard du nouveau test comme l'ensemble de la population. De ce point de vue, on peut donc définir une mesure du « *désordre* » des classes découpées par un test, par rapport aux tests restants. Et l'on définira comme opérateur de *classification* une batterie de tests minimisant ce désordre.

Le point de vue informationnel permet ici de mettre en lumière et de formaliser deux procédures complémentaires, constituant toutes deux des traitements frustes de l'individuel. L'une se propose une combinaison des opérateurs

de sélection telle que leur découpage converge, pour ainsi dire, de la façon la plus rationnelle vers des « individus » ; l'autre vise à déterminer la séquence de sélecteurs la plus courte permettant d'identifier des individus.

On observera que cette dualité du problème se retrouve sous différentes formes dès que l'on envisage opérationnellement, comme il est dit, la détermination des individus. C'est ainsi que l'établissement du codage rationnel des documents d'une bibliothèque devrait à la fois satisfaire aux conditions d'une *classification* en groupes homogènes par rapport à tous les critères, et aux conditions d'*identification* d'un document à partir d'indices de recherche fournis par les usagers (et relatifs à son contenu). Le point de vue informationnel ouvre ainsi des perspectives nouvelles sur une philosophie et une technologie du repérage des « individus ».

10. La tâche d'une *caractérologie* pourrait être interprétée de cette manière par le psychologue, quoique, naturellement, à un degré considérablement plus élevé de complexité.

Les critiques les plus pertinentes que rencontre d'ordinaire cette discipline pourraient sans doute être levées en effet si elle cessait explicitement de considérer les *traits,* par le moyen desquels elle définit ses types caractériels, comme des *composantes,* statiques et dynamiques, d'une individualité. Dans la perspective suggérée, l'individu en tant que tel n'est pas une *résultante ;* il ne peut signifier, pour une pensée rationnelle pratique, que la combinaison de structures informationnelles permettant de préparer sa saisie dans une action concrète, mais nullement de la définir ni comme essence, ni comme existence intuitivement vécue.

Une caractérologie ne devrait donc se présenter que comme un système de marques, à l'exemple d'une phonologie qui est un réseau d'oppositions et de corrélations. Attitude difficile à maintenir, parce qu'elle va contre le sens commun animiste et substantialiste, à peu près de la même façon que la physique galiléo-cartésienne de l'étendue se heurtait à une physique des substances et des qualités sensibles. Mais l'interprétation naturaliste du caractère conduit à des difficultés considérables ceux qui voudraient réduire la caractérologie à une sorte de chimie des caractères, et oblige ceux qui en font application — non sans succès pratique — à des amendements théoriques qui acheminent justement vers une conception informationnelle.

Les comportements deviennent alors les éléments d'une « parole », au sens saussurien ; les schémas caractériels en proposent différents déchiffrements, laissant du reste toujours

subsister une redondance apparente. Et chaque système caractérologique détermine différemment ce résidu non utilisé, sans qu'aucun filtrage convergent puisse jamais le résoudre en éléments atomiques définitifs : le rêve d'une « Caractérologie universelle » rejoint le rêve d'une caractéristique universelle au royaume des illusions transcendantales...

Il appartient évidemment aux psychologues d'enfanter dans la douleur une caractérologie « informationnelle ». Nous nous bornerons ici à la tâche infiniment plus facile qui consiste à indiquer quelques conséquences méthodologiques importantes de ce changement de point de vue :

1° Les systèmes caractérologiques apparaissent dès lors très légitimement comme relatifs au niveau de l'analyse. Puisqu'une caractérologie est un canevas de codage de l'individuel, plusieurs caractérologies conservent simultanément leur valeur, si l'on peut chaque fois préciser les conditions d'objectivation de l'individuel qu'elles postulent, et la tactique d'intervention qui les prolonge.

En contrepartie, nul système caractérologique ne peut prétendre déterminer les variétés d'une *nature humaine.*

2° Toute caractérologie valable sera nécessairement hétérogène, c'est-à-dire qu'elle ne saurait se réduire à un réseau unidimensionnel de traits, s'il est vrai que l'approche rationnelle de l'individuel s'effectue par recoupement de perspectives prises à différents niveaux. Une caractérologie *plate* n'est jamais qu'une répartition pure et simple, en différentes *classes,* des individus radicalement désindividués.

Une caractérologie « polyphonique » débouche au contraire sur une histoire, entendue non comme résurrection contemplative, mais comme analyse des situations. Elle n'est qu'un instrument clinique, une méthode, un peu comme on dirait d'une langue qu'elle est un outil.

3° Le système informationnel qu'une caractérologie s'efforce d'élaborer n'est jamais un en-soi significatif comme tel. On pourrait dire que le caractère est toujours un message *pour* un certain milieu. Ainsi concilierait-on sans concessions ruineuses l'exigence constitutionnaliste de consistance du schéma caractériel, et l'exigence de détermination par le milieu. Sans avoir à postuler le détail et les limites d'une causalité, on poserait sans ambiguïté *que le caractère est dépendant du milieu comme le message l'est du récepteur : dans sa structure même.* Une caractérologie synchronique, qui conditionne toute caractérologie diachronique, devrait donc déjà se constituer comme description d'une structure de communication entre l'individu et son milieu.

11. Nous dirons un mot pour finir d'un dernier exemple, sans doute ici assez inattendu : celui de la traduction automatique. En un certain sens en effet, le problème de la machine à traduire est un problème de traitement de l'individuel : un dispositif automatique doit pouvoir appliquer à des cas toujours singuliers — telle séquence linguistique — un ensemble structuré de règles grammaticales.

S'il s'agissait seulement d'un décodage, au sens strict, c'est-à-dire de l'application d'un ensemble structuré de symboles sur un ensemble non structuré d'autres symboles, épousant pour ainsi dire aveuglément la structure des premiers, le problème se réduirait à la simple confection d'un dictionnaire. Mais la traduction d'une langue dans une autre langue suppose la transposition des structures de l'une dans les structures de l'autre ; si les deux structures étaient identiques nous serions ramenés encore à un problème de décodage simple. En général il n'en est pas ainsi.

Le message en langue étrangère doit donc être considéré comme *individu,* au sens que nous avons donné à ce terme, en ce que le décodage lexical de ses éléments laisse un résidu syntaxique opaque, et en quelque sorte redondant, pour qui ne possède pas les structures de la langue. On voit donc déjà que la machine devra repérer les éléments du message par rapport à deux systèmes, sur deux plans non confondus : le plan lexical et le plan syntaxique. Il est clair que la compréhension effective du message par un sujet met en œuvre d'autres grilles, opérant sur d'autres plans, correspondant par exemple à ce qu'on pourrait nommer prosodie descriptive (enrichissant les dénotations d'objets), et prosodie expressive (enrichissant les notifications d'états d'âme de l'émetteur). De la même façon, les structures syntaxiques au sens large se révèleraient elles-mêmes, à l'analyse, comme pluri-dimensionnelles : système des marques morphologiques, système des marques articulatoires, ou mots-outils, système des taxèmes ou marques de position relative, etc. Il apparaît ici que l'opposition saussurienne langue/parole prend sens dans une pratique qui n'est pas seulement celle de l'usage immédiat du langage. Une machine à traduire est une machine à traiter la *parole* (fût-ce à ce degré élémentaire qu'en est la séquence écrite de mots), et elle doit réaliser des opérations mettant en rapport cette parole avec les structures d'une langue. Il lui faut analyser des séquences de signes comme représentatifs de structures à niveaux multiples et recomposer de nouvelles séquences avec d'autres signes représentatifs d'autres structures. Un programme de traduction automatique devrait donc comporter la reconnaissance de plusieurs systèmes de marques

superposées, ou entrecroisées. En outre ces systèmes de marques ne doivent pas être déterminés intrinsèquement, mais saisis pour ainsi dire à travers les fitres que constituent les structures de la langue-cible, afin que l'information analytique recueillie puisse être récupérée synthétiquement dans des séquences nouvelles. Dans une première phase de la technologie de traduction automatique, on s'en est du reste tenu à une analyse purement sémantique ; la machine était alors un simple *dictionnaire* automatique, se bornant à décoder les renvois sémantiques. A mesure que la technique progresse, de nouveaux systèmes de marques entrent en ligne de compte, et l'on conçoit que le perfectionnement de la traduction corresponde exactement au processus de recoupement polyphonique par lequel nous avons décrit la saisie de l'individuel. Une traduction automatique de haute qualité n'est donc nullement inconcevable : sa difficulté essentielle réside seulement dans la formulation des systèmes de marques auxquelles la machine sera sensible, et l'on comprend alors que ses solutions progressives doivent s'associer étroitement à l'évolution de la linguistique, en même temps, bien entendu, qu'elles contribuent à la solliciter et à l'orienter.

12. Nous nous en tiendrons à ces remarques, qui esquissent une théorie de l'individualité dans les sciences de l'homme, en mettant l'accent sur ce qu'on pourrait appeler le pôle noématique du travail d'individuation : c'est-à-dire en considérant ce travail en tant qu'il détermine un objet. Elles devraient être complétées par une autre analyse, privilégiant le pôle « noétique » : nous voulons dire : les modalités de ce travail en tant qu'activité d'un sujet. Nous proposerions qu'elle soit alors nommée *théorie du style*. L'une et l'autre de ces analyses attaquent d'ailleurs selon deux perspectives complémentaires un problème unique : celui des rapports de l'événement aux structures. Mais notre objectif était ici volontairement limité, et nous conclurons cette étude en en résumant brièvement les thèses :

1° La considération de l'individuel comme *objet de connaissance spéculative* conduit à d'insurmontables contradictions. Pour en sortir, nous proposons de dissocier la notion selon deux plans irréductibles. D'une part celui du vécu, où l'individu est catégorie affective et esthétique, d'autre part celui de la connaissance scientifique — qui n'est point spéculative —, où le terme d'individu renvoie au problème de la relation entre connaissance structurale et pratique rationnelle concrète.

2° De ce second point de vue, la catégorie de l'individuel correspond à un processus d'objectivation spécifique, qui peut être décrit en termes informationnels comme multiplication en entrecroisement de systèmes de codage de l'expérience, essentiellement irréductibles entre eux.

Une telle détermination de l'individuel ne nous fait nullement saisir une essence, ni même ne nous autorise à la poser comme « idée », terme jamais atteint d'une marche ininterrompue. Elle perdrait évidemment tout son sens si la science n'était qu'un miroir du monde ; mais si la science est essentiellement liée à une pratique, elle devient significative d'une orientation et d'un but.

NOTES

(1) Nous reprenons ici la distinction husserlienne de la *Première Recherche Logique*, entre « indice » (Index, Anzeichen) et « expression » (Ausdruck).

(2) Ces observations s'appuient sur Lewis, *Infant speech*, 1936, et Jakobson & Halle, *Fundamentals of language*, 1956.

(3) Les éléments d'un fait social, par exemple, seront déterminés par des critères de reconnaissance applicables sans ambiguïté à un certain niveau de la technique d'observation et d'expérimentation sociologique. Mais on sera incapable, sur le plan où l'on se place, d'expliciter le changement de structure qui caractérise le passage d'un exemplaire de ces éléments à un autre. On se contentera de dire, par exemple, que ce sont deux *variantes historiques* du même élément de phénomène.

(4) In *Information Theory*, Fourth London Symposium, 1961, l'article de Fairthhorne, et celui de Rescigno et Maccacaro, p. 426 et 437.

(5) On peut assimiler chaque individu classé à l'occurrence d'un symbole dans un message ; l'information shannonnienne apportée par le test découpant la population globale en classes d'effectifs $a_1, a_2, \ldots, a_n$ (avec $\sum_{i=1}^{n} a_i = N$) serait alors donnée par :

$$H(a_1, a_2, \ldots a_n) = -\sum_{i=1}^{n} \frac{a_i}{N} \log \frac{a_i}{N}$$

cf. *loc. citat.*, p. 440.

LA FORMALISATION DE LA NOTION DU SYSTEME CYBERNETIQUE

STANISLAS BELLERT
(Invité à faire une communication, n'a pu venir)

1. INTRODUCTION

La notion de système est une des notions essentielles de la cybernétique. Mais en général elle n'est pas suffisamment précise, et on la comprend la plupart du temps d'une façon intuitive. La compréhension intuitive de la notion de système en cybernétique risque de causer des malentendus et des contradictions, de même qu'autrefois la compréhension intuitive de la notion d'« ensemble » occasionnait des antinomies dans la théorie des ensembles. C'est pourquoi la recherche d'une définition à la fois aussi exacte que possible et suffisamment générale d'un système cybernétique qui pourrait être une prémisse à l'application dans la cybernétique de la méthode axiomatique de l'analyse, s'impose de toute nécessité.

De même que dans d'autres théories physiques, il est commode de construire la théorie d'un système comme une théorie abstraite de laquelle on peut donner ensuite une représentation physique et géométrique, et il est évident que du point de vue de la physique on peut distinguer dans la représentation physique la notion d'un « *système concret* » qui est un modèle approximatif du système physique. Cette idée est représentée schématiquement sur la Fig. 1.

En associant à la théorie du système cybernétique divers contenus significatifs (et diverses interprétations physiques), on peut l'appliquer à des problèmes différents, par

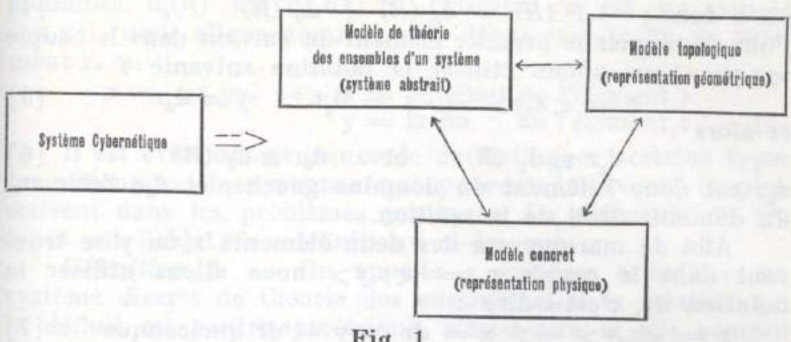


Fig. 1.

exemple *économiques, techniques, biologiques,* et ainsi de suite. Il faut souligner ici un grand mérite de la cybernétique : cette science rend possible une analyse, basée sur des principes communs, de plusieurs questions apparemment différentes, comme par exemple *bioorganismes* et *technoorganismes*.

2. LES SYSTÈMES DISCRETS

2.1. *Le modèle de théorie des ensembles d'un système*

Soit un sous-ensemble M d'un espace topologique, tout au plus dénombrable. Nous définirons sur l'ensemble M une *relation binaire R* comme un sous-ensemble de produit cartésien $R \subset M \times M$ [1]

Relation R est donc un ensemble de couples ordonnés $<x,y>$ de certains éléments de l'ensemble M. Si le couple $<x,y>$ est un élément de l'ensemble *R*, nous écrivons x*R*y et nous disons que le couple $<x,y>$ est mis en relation. Nous avons donc :

$$xRy \iff <x,y> \in R \qquad [2]$$

Si le couple $<x,y>$ n'est pas mis en relation, nous écrivons x non *R*y, ou :

$$x \text{ non } Ry \iff <x,y> \notin R \qquad [3]$$

On dira aussi : « x reste en relation *R* à y » si x*R*y, et : « x n'est pas en relation *R* à y » si x non *R*y.

On nommera « *domaine gauche* d_g (*R*) *de la relation R* » l'ensemble d'antécédents de couples appartenant à la *R*. On nommera « *domaine droit* d_d (*R*) *de la relation R* » l'ensemble de suivants de mêmes couples. Nous appellerons « *le champ de la relation R* » la somme des deux domaines. Soit F(*R*) son symbole ;

on a donc : $F(R) = d_g(R) + d_d(R)$ [4]

Pour distinguer le premier élément du suivant dans le couple $<x,y>$ nous allons utiliser la notation suivante :

$$r = <x,y> \;=>\; x = d_g r, \quad y = d_d r \qquad [5]$$

et alors :

$$d_g r \in d_g(R) \quad \text{et} \quad d_d r \in d_d(R) \qquad [6]$$

$d_g r$ est donc l'élément du domaine gauche, et $d_d r$ l'élément du domaine droit de la relation.

Afin de marquer un des deux éléments x ou y se trouvant dans le couple $r = <x,y>$ nous allons utiliser la notation dr, c'est-à-dire :

$$r = <x,y> \;=>\; x = dr \text{ ou } y = dr \text{ quelconque} \qquad [7]$$

L'élément dr est donc l'élément du champ de la relation :

$$dr \in F(R) \qquad [8]$$

Nous allons maintenant introduire la définition suivante :

Définition 1. — Nous nommerons une relation binaire « la relation structurale dans l'ensemble M », si et seulement si pour chaque couple d'ensembles X et Y non vides suivants :

$$X + Y = M, \qquad X.Y = O \qquad [9]$$

il y a des éléments $x \in X$ et $y \in Y$ pour lesquels a lieu une au moins des relations :

$$rRy \quad \text{ou} \quad yRx \qquad [10]$$

La notion de la relation structurale dans un ensemble nous servira pour définir le système discret. Nous introduirons notamment la définition suivante :

Définition 2. — Nous nommerons une relation binaire *R*, structurale dans un sous-ensemble M de l'espace topologique « le système discret de théorie des ensembles ». Nous nommerons les éléments de la relation *R* « les éléments du système de théorie des ensembles ».

Conformément à la définition ci-dessus, la notion d'un système discret est identifiée avec la notion structurale dans un ensemble. Il s'ensuit de la définition de la relation structurale *R* qu'il n'y a pas d'éléments isolés dans le système discret, c'est-à-dire que chaque élément de l'ensemble M reste dans une relation définie avec l'un au moins des autres éléments de l'ensemble M. L'ensemble M est donc le champ de la relation :

$$M = F\,|R| \qquad [11]$$

Les éléments du champ de la relation *R*, donc les éléments de l'ensemble M, nous allons les nommer « *les sommets du système* ». Il est facile de remarquer que chaque sommet du système *R* est l'élément d'un au moins des

domaines $d_g(R)$ ou $d_d(R)$. Si l'élément r est un couple $<x,y>$, nous allons nommer x le début et y la fin de l'élément r, ou :

$$r = <x,y> \;=>\; \begin{array}{l} x = \text{le début de l'élément } r \\ y = \text{la fin de l'élément } r \end{array} \qquad [12]$$

Il est évidemment commode de distinguer certains types fondamentaux de systèmes qui peuvent intervenir le plus souvent dans les problèmes pratiques. La définition de ces types est l'objet des définitions ci-dessous :

Définition 3. — On appelle « système orienté » un système discret de théorie des ensembles, si la relation qui le définit est contre-symétrique, c'est-à-dire si elle remplit la condition :

$$xRy \;=>\; y \text{ non } Rx, \text{ pour les } x,y \in M \text{ quelconques} \qquad [13]$$

Si la condition [13] n'est pas remplie pour tous les éléments x,y de l'ensemble M, nous disons que le système *R* est partiellement orienté.

Le système *R* est donc orienté si par exemple la relation est symétrique dans M, c'est-à-dire :

$$xRy \;=>\; yRx, \text{ pour les } x,y \in M \text{ quelconques} \qquad [14]$$

Par contre, le système *R* est partiellement orienté dans le cas où *R* est une relation faiblement symétrique dans M, ce qui veut dire :

$$xRy \text{ et } yRx \;=>\; x = y \text{ pour les } x,y \in M \text{ quelconques} \qquad [15]$$

Définition 4. — Le système discret est compact si la relation qui le définit est une relation connexe, c'est-à-dire si elle remplit la condition :

$$xRy \quad \text{ou} \quad yRx, \text{ pour les } x,y \in M \text{ quelconques} \qquad [16]$$

De la définition admise du système compact nous concluons immédiatement que chacun des deux sommets de ce système sont aussi les sommets d'un certain élément du système.

Définition 5. — Nous appelons « les entrées du système » les sommets d'un système qui ne sont que les débuts de ses éléments ; par contre, nous appelons « les sorties du système » les sommets d'un système qui ne sont que les fins de ses éléments.

Nous appelons les entrées et les sorties « *les sommets extérieurs du système* ».

Nous appelons « *les éléments extérieurs du système* » les éléments d'un système dont les débuts et les fins sont les sommets extérieurs du système. Les éléments qui ne sont pas extrêmes sont nommés les éléments intérieurs du système. On appelle « *le bord du système* » l'ensemble des

sommets extérieurs, donc des sommets qui sont soit les entrées soit les sorties du système.

Si donc par X nous indiquons l'ensemble d'entrées, par Y l'ensemble de sorties et par B le bord du système, nous avons les formules suivantes :

$$\left.\begin{aligned} X &= d_g R - d_d R, \\ Y &= d_d R - d_g R, \\ B &= d_g R \dot{-} d_d R \end{aligned}\right\} \qquad [17]$$

où $\dot{-}$ marque la différence symétrique d'ensembles, c'est-à-dire :

$$B = (d_g R - d_d R) + (d_d R - d_g R) \qquad [18]$$

Définition 6. — On appelle « système initial » un système qui a des sorties et n'a pas d'entrées. On appelle « système final » un système ayant des entrées et dépourvu de sorties. On appelle « système isolé » un système qui n'a pas de bord. On appelle « système relativement isolé » un système possédant les entrées et les sorties.

Le système R est donc initial si :

$$d_g R - d_d R = O \qquad [19]$$

Il est final quand :

$$d_d R - d_g R = O \qquad [20]$$

Isolé dans le cas :

$$d_g R - d_d R = O \qquad [21]$$

Et enfin il est relativement isolé si :

$$d_g R - d_d R \neq O \text{ et } d_d R - d_g R \neq O \qquad [22]$$

La figure 2 représente un schéma du système cybernétique contenant les systèmes : *initial, relativement isolé,* et *final* :

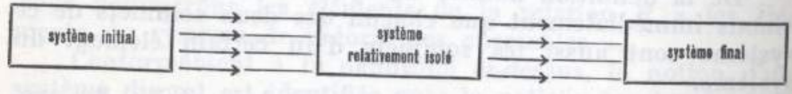


Fig. 2.

Représentation schématique d'un système cybernétique composé de la connexion des trois systèmes indiqués.

2.2 *Le modèle topologique d'un système.*

2.2.1 La définition d'un système topologique.

Sous la notion « *simplex unidimensionnel* » nous allons comprendre la transformation homéomorphe d'un segment

(simplex géométrique). La figure 3 donne quelques exemples de simplex unidimensionnels dont les sommets sont x,y. Convenons de marquer les sommets d'un simplex par de petits cercles.



Fig. 3.

Nous noterons un simplex unidimensionnel dont les sommets sont x,y, à l'aide de la notation (x,y).

Supposons donné un système de théorie des ensembles et définissons la transformation Γ suivante :

$$\Gamma(R) = \sum_{r \in R} \Gamma(r) \text{ quelconques} \qquad [23]$$

qui fait correspondre à chaque arête r du système un ensemble non vide S_r des simplex unidimensionnels dont les points finaux se trouvent dans les $d_g r$ et $d_d r$.

Nous appellerons la transformation Γ « *la représentation géométrique du système R* ».

Notons :

$$S = \Gamma(R) \qquad [24]$$

Nous définirons donc la transformation par la formule :

$$S = \Gamma(R) \Rightarrow \Gamma(r) = S_r \subset S, \qquad S_r \neq O \qquad [25]$$

où S est un ensemble des simplex unidimensionnels tels que :

$$s_r \in S_r \Longleftrightarrow s_r = (d_g r, d_d r) \qquad [26]$$

Nous introduirons la définition suivante :

Définition 7. — Nous appelons « système topologique discret étendu sur la relation structurale R », l'ensemble S des simplex unidimensionnels, défini par les formules [25] et [26].

Evidemment dans un cas particulier le sous-ensemble S_r de la formule [25] peut être composé d'un seul élément. Un seul simplex correspond alors à l'élément r.

Nous allons nommer « *arêtes, ou éléments du système topologique* », les simplex $x \in S$, et « *sommets du système* » les sommets des simplex.

On appelle orienté (ou partiellement orienté) un système, quand tous (ou certains) simplex s d'un ensemble connexe S représentant ce système, sont orientés. Si aucun des simplex $s \in S$ n'est orienté, nous appelons le système non-orienté.

Nous transposons les notions introduites pour un système de théorie des ensembles *R* sur sa représentation géométrique $S = \Gamma(R)$. Si par exemple, le système *R* est : *initial, final, isolé relativement isolé,* etc., nous faisons correspondre ces mêmes notions au système topologique $S = \Gamma(R)$.

Comme dans le cas du système de théorie des ensembles, nous allons désigner l'ensemble de tous les sommets du système topologique étant les débuts du système par $d_g(S)$ et l'ensemble de ses fins par $d_d(S)$.

La notion de système topologique n'est pas équivalente à la notion de *graphe* par laquelle nous entendons généralement le couple ordonné $<X,G>$ de l'ensemble X des sommets de la transformation multivalable $G(X) \subset X$. Par contre un système topologique est toujours un *graphe ou multigraphe,* et cela selon que les ensembles S_r des simplex dans la formule [25] contiennent un seul élément pour tous les $r \in R$, ou que cette condition n'est pas remplie.

D'autre part, chaque graphe (ou multigraphe) représente un système, étant donné que la satisfaction de la condition de la connexion n'est pas nécessaire. Il y a donc des graphes qui ne sont pas des systèmes topologiques, et aussi des systèmes topologiques (au sens ici considéré) qui ne sont pas des graphes.

2.2.2. La structure d'un système

Conformément à la définition admise du simplex unidimensionnel, nous pouvons librement étendre les arêtes du système sans par cela changer le système du point de vue de ses caractéristiques topologiques qui résultent de la « configuration » définie des connexions des éléments du système. Or, la structure du système, c'est précisément cette configuration des connexions qui ne change pas avec les transformations continues des arêtes et qui en général est perçue intuitivement.

La figure 4 montre quelques exemples de systèmes topologiques ayant la même structure. Nous l'appelons « *la structure du pont* ».

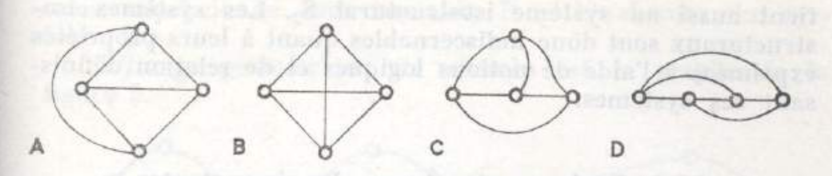


Fig. 4.

Exemple des systèmes ayant la même structure

Dans ce qui suit nous allons définir la notion du système d'une façon plus précise en nous basant sur les propriétés de la transformation *homéomorphe.*

Nous allons nommer des systèmes S_1 et S_2 « homéomorphes » s'il y a une fonction f :

$$f(S) = \sum_{s \in S} E(S), \qquad [27]$$

réversible, continue, et ayant son inverse continue f^{-1} qui transforme le système S_1 en S_2, c'est-à-dire :

$$S_2 = f(S_1)$$

Partageons tous les systèmes topologiques en classes, en mettant dans la même classe les systèmes homéomorphes. Nous nommerons ces classes « *les types structuraux* » ou « *les structures* » tout court, et nous les désignerons par le symbole S.

Introduisons une définition :

Définition 8. — Nous appelons « type structural du système topologique », ou « structure » tout court un objet S désignant une classe de système homéomorphes et remplissant la condition :

$$\overline{S_1} = \overline{S_2} <=> \text{(les systèmes } S_1, S_2 \text{ sont homéomorphes)} \qquad [28]$$

La structure $\overline{S}$ est donc l'invariable de transformations homéomorphes.

On appelle aussi la transformation homéomorphe [27] « *transformation isostructurale* », et les systèmes homéomorphes « *systèmes isostructuraux* ». Nous disons que les systèmes isostructuraux possèdent la même structure. Chaque transformation du système qui n'est pas une transformation homéomorphe est dite transformation structurale.

Soient deux systèmes isostructuraux S_1 et S_2. On voit que chaque propriété du système S_1 exprimée à l'aide de notions logiques et de relation définissant ce système, appar-

tient aussi au système isostructural S_2. Les systèmes isostructuraux sont donc indiscernables quant à leurs propriétés exprimées à l'aide de notions logiques et de relation définissant ces systèmes.

2.2.3. Quelques structures plus importantes de systèmes topologiques

Les notions importantes pour la théorie d'un système sont les suivantes : chemin, cycle, étoile, dendrite. On en donne ci-dessous les définitions. Conformément à la terminologie de la topologie algébrique, nous appelons *chaîne unidimensionnelle* la formule suivante :

$$L = \lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2 + \dots + \lambda_n s_n \quad [29]$$

où s_1, s_2, ...s_n sont des simplex unidimensionnels orientés, et λ_1, λ_2 ...λ_n, des entiers. La chaîne [29] est donc une certaine forme linéaire des variants s_1, s_2, ...s_n dont les coefficients sont λ_1, λ_2, ...λ_n.

Admettons que la multiplication du simplex par -1 implique le changement de son orientation, donc :

$$-1.(x,y) = (y,x).$$

On peut voir que les chaînes [29] forment un groupe alternant (abélien).

Nous appelons *bord du simplex unidimensionnel* $s = (x,y)$, une chaîne zéro-dimensionnelle :

$$\partial s = x - y \quad [30]$$

et le bord de la chaîne [28] est défini par la formule :

$$\partial L = \sum_i \lambda_i \, \partial s_i \quad [31]$$

L'opération du bord est un homéomorphisme du groupe des chaînes unidimensionnelles à un groupe des chaînes zéro-dimensionnelles.

Considérons maintenant le sous-ensemble P d'éléments du système discret S ; nous désignerons par P^* la chaîne de la forme :

$$P^* = \sum_{P_i \in P} P_i \quad [32]$$

Nous allons introduire la définition suivante :

Définition 9. — Si le sous-ensemble P d'éléments du système S remplit les conditions :

$$\partial P^* = y\text{-}x \, ; \quad P^*_i \neq O$$

$$\text{où } P^* = \sum_{P_i \in P} P_i, \quad x \in d_g(P), \quad y \in d_d(P), \quad [33]$$

nous appelons ce sous-ensemble P « le chemin du système S ».

L'image géométrique du chemin est le graphe de la figure 5.

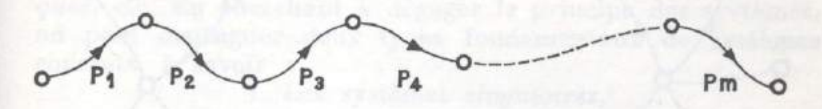


Fig. 5.

Dans le sens topologique le chemin est donc un arc composé d'un certain nombre de simplex.

Si l'ensemble $P \subset S$ constitue un chemin après que l'on a changé l'orientation de certains de ses éléments, nous l'appelons alors un chemin apparent.

L'orientation bonne du système est une notion importante, liée à la définition du chemin. *Nous convenons notamment de qualifier un système de « bien orienté » si de chacun de ses sommets il y a un chemin vers chacune de ses sorties.*

Passons maintenant à la définition de la notion de cycle.

Définition 10. — Si le chemin C du système topologique discret S, remplit la condition :

$$\partial C^* = O \quad [34]$$

nous appelons ce chemin « le cycle » (Fig. 6).

Si l'ensemble C des simplex constitue un cycle après que l'on a changé l'orientation de certains de ses éléments, nous appelons alors ce cycle *un cycle apparent* et nous le désignons par le symbole C^P. Le cycle de deux éléments $C = \{C_1, C_2\}$, nous l'appelons « *le cycle binaire* ».

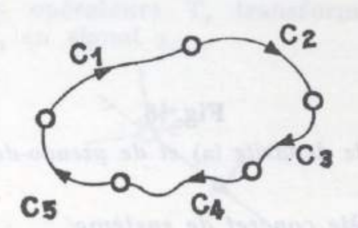


Fig. 6.
Exemple de cycle

Définition 11. — Si tous les éléments du système G ont un initial (ou un finale) communs, et si le système

ne contient pas de cycles apparents, nous le nommerons « l'étoile divergente » (ou « convergente ») (Fig. 7).

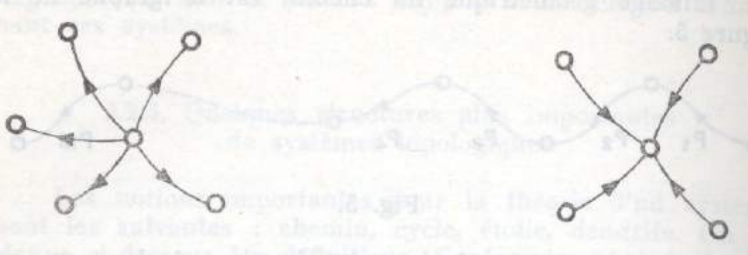


Fig. 7.

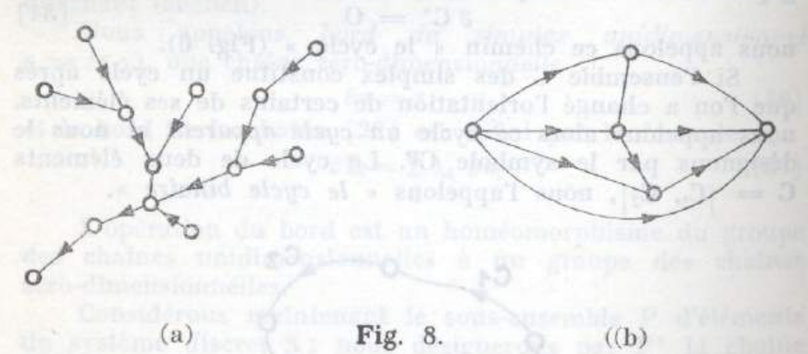
a) *Etoile divergente* b) *Convergente*

Nous considérons maintenant les notions importantes du *dendrite* et du *pseudo-dendrite*.

Définition 12. — Le dendrite est un système qui ne contient ni cycles ni cycles apparents. Le pseudo-dendrite est un système contenant des cycles apparents et dépourvu de cycles (Fig. 8).

L'exemple de pseudo-dendrite est un système défini par la relation transitive :

$$xRy,\ yRz \Longrightarrow xRz, \text{ pour les } x,y,z \in M \text{ quelconques} \quad [35]$$



(a) Fig. 8. ((b)

Exemple de dendrite (a) *et de pseudo-dendrite* (b)

2.3. *Un modèle concret de système*

Nous réalisons le système concret à partir d'un système topologique en lui faisant correspondre certaines propriétés physiques. Il est donc la représentation physique du système topologique. On peut alors considérer le système concret comme une approximation plus ou moins exacte du système

physique. Les systèmes concrets peuvent être caractérisés par des principes extrêmement différents. Ils peuvent être des systèmes *électriques, thermiques, hydrauliques, pneumatiques, chimiques, biologiques, économiques, praxéologiques*, etc. En cherchant à dégager le principe des systèmes, on peut distinguer deux types fondamentaux de systèmes concrets, à savoir :

1. Les systèmes *singulaires*,
2. Les systèmes *transitifs*.

C'est le système transitif qui a pour la cybernétique une importance particulière. Il est aussi l'objet du présent chapitre. Nous allons définir le système transitif de la façon suivante :

Définition 13. — Nous appelons transitif le système obtenu du système topologique bien orienté, si les conditions suivantes sont remplies :

1. Nous faisons correspondre aux sommets du système topologique les grandeurs physiques (les signaux) $x_\nu \in X$, c'est-à-dire nous définissons la fonction f suivante :

$$f : M \longrightarrow X \quad [36]$$

2. Nous mettons les relations suivantes pour les signaux :

$$X_{i+1} = \sum_{\nu = k}^{i} T_\nu X_\nu \quad [37]$$

où $X_k, X_{k+1} \ldots X_i$ sont des signaux correspondant aux sommets initiaux de tous les éléments (du système) dont le point terminal commun correspond au signal X_{i+1} (Fig. 9).

Nous appelons *transmittances* des éléments d'un système les opérateurs T_ν transformant les signaux $x_k, x_{k+1} \ldots x_i$ en signal x_{i+1}.

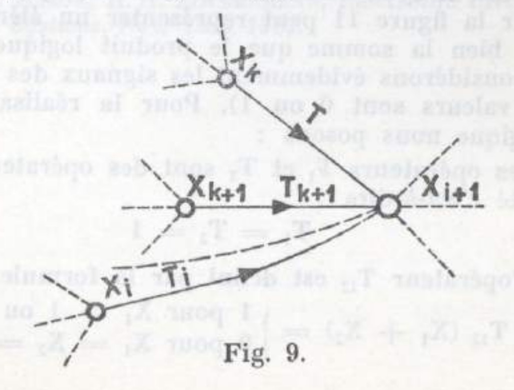


Fig. 9.

La différence essentielle entre les systèmes singulaires et transitifs consiste en ce que pour ces derniers nous n'attribuons des signaux qu'aux sommets du système. Le rôle d'éléments du système transitif — qui est toujours un système bien orienté — est réduit à la transformation de signaux, conformément aux opérateurs qui correspondent à ces signaux — transmittances T_γ.

Les systèmes transitifs sont largement répandus. Chaque réseau électrique, chaque segment de la transmission de la télécommunication, chaque ligne de radio, constituent un système transitif. Dans cette même famille il faut compter aussi chaque système du pilotage automatique décrit généralement dans le langage de *schémas de block*. Le système de block représente tout simplement, dans la notation de systèmes transitifs, une branche singulière orientée du système transitif (Fig. 10).

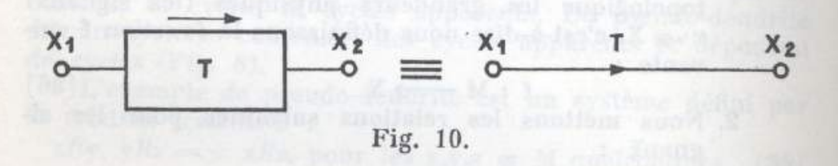


Fig. 10.

Ainsi, considérablement simplifiée, la représentation géométrique de systèmes facilite l'examen de systèmes cybernétiques compliqués, comme par exemple les systèmes de bioorganismes et de technoorganismes.

Il est possible, en fonction d'opérateur T, de distinguer beaucoup de systèmes transitifs particuliers. En particulier, on peut donner des modèles des opérations logiques essentielles à l'aide de systèmes transitifs. Par exemple, le système indiqué sur la figure 11 peut représenter un élément réalisant aussi bien la somme que le produit logique. Dans ce cas nous considérons évidemment les signaux des deux états (dont les valeurs sont 0 ou 1). Pour la réalisation de la somme logique nous posons :

1° Les opérateurs T_1 et T_2 sont des opérateurs d'identité c'est-à-dire :

$$T_1 = T_2 = 1$$

2° L'opérateur T_{12} est défini par la formule :

$$T_{12}(X_1 + X_2) = \begin{cases} 1 \text{ pour } X_1 = 1 \text{ ou } X_2 = 1 \\ 0 \text{ pour } X_1 = X_2 = 0 \end{cases}$$

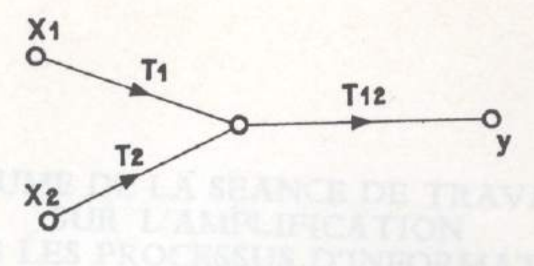


Fig. 11.

Pour la réalisation du produit logique nous posons comme dans le cas précédent :

$$T_1 = T_2 = 1$$

$$\text{et } T_{12}(X_1 + X_2) = \begin{cases} 1 \text{ pour } X_1 = X_2 = 1 \\ 0 \text{ pour } X_1 = X_2 = 0 \end{cases}$$

Les systèmes linéaires transitifs constituent une classe de systèmes particulièrement importante. La théorie de ces systèmes a été minutieusement étudiée par J. S. Mason (3).

Elle trouve des applications fort utiles dans l'électronique et dans l'automatisation en simplifiant et en minimisant les calculs liés à l'analyse de systèmes compliqués.

Bibliographie.

1. N. Wiener, *Cybernetics*, Paris 1958.
2. H. Greniewski, *Elementy Cybernetyki*, Warszawa 1959.
3. S. J. Mason, H. H. Zimmermann, *Electronic Circuits, Signals and Systems*, New York 1960.

RESUME DE LA SEANCE DE TRAVAIL SUR L'AMPLIFICATION DANS LES PROCESSUS D'INFORMATION

Exposé par G. SIMONDON
Université de Poitiers

(*Résumé*)

Il existe trois modes principaux d'amplification, la propagation transductive, la modulation, l'organisation. Le premier mode ne possède pas en lui-même sa propre limite ; il est discontinu, procède par tout-ou-rien, et ne comporte pas de degrés ; il est irréversible. Son rendement énergétique est très élevé. Le second mode, continu et progressif, suppose une réduction des capacités énergétiques du système ; il correspond à l'opération des modulateurs techniques employés pour le traitement des signaux d'information. Enfin, l'organisation, qui se manifeste dans les processus biologiques, est une synthèse des deux précédents modes ; elle restitue un régime quantique et s'exerce par vagues successives, principalement dans l'activité de croissance.

Ces trois modes fournissent des paradigmes permettant d'interpréter des situations complexes. Ils ont en commun la condition primordiale de tout processus d'information : l'existence préalable d'un état métastable et d'un quasi-système pouvant recevoir efficacement un signal incident qui modifie l'équilibre du système riche en énergie potentielle.

DISCUSSION

La discussion a porté sur les *conditions historiques* de l'emploi des premiers amplificateurs pour les transmissions téléphoniques à longue distance (M. N. Wiener), sur la *légitimité du terme d'amplification* dans les cas où le coefficient d'amplification est égal ou inférieur à 1 (M. MacKay), enfin sur la *possibilité d'étendre* les schèmes présentés aux activités primaires et aux rapports sociaux (M. Poirier).

SEANCE DE SYNTHESE

M. Hyppolite a remercié tous les congressistes et s'est félicité de la diversité des points de vue et de tous les aspects différents qui ont été présentés, aussi bien sur le sens et le rôle d'une théorie de la quantité d'information que sur la place actuelle de cette notion d'information en biologie, sur les recherches techniques en matière d'appareils de codage et décodage automatique, ou de prothèse, enfin sur les conditions de réception des messages.

Constatant cette diversité, M. Hyppolite s'est demandé si cette notion — équivoque, mais utilisée en des domaines très différents — ne pouvait pas se situer dans l'esprit de la philosophie contemporaine, qui accomplit un effort pour comprendre comment, malgré la contingence de l'existence, peuvent surgir des structures qui ont du sens, et qu'on peut envisager comme des messages. Sans vouloir dépasser l'existence en partant d'une finalité théologique impliquant un plan donné à l'origine, la recherche de la nature du message conduit à celle de ce qui permet de conserver ou de reproduire la structure qu'il porte contre cette fatalité de déperdition, de dégradation, qui correspond en théorie de l'information à l'augmentation d'entropie : L'existence ne provient pas d'un plan, mais elle apporte la condition d'émergence de messages, elle n'est pas déstructurée.

De plus, remarque M. Hyppolite, on est ainsi amené à employer un langage dont il est très important de noter qu'on l'utilise sans références à la conscience : il est intéressant de voir au moins jusqu'où on peut aller dans cette voie.

Enfin, la philosophie de l'existence rencontre les recherches de la cybernétique et de la théorie de l'information sur le terrain des machines à information qui prolongent le corps humain et ouvrent la voie, dans une « prothèse » susceptible de recevoir une extension indéfinie, à un mode d'être original que la pensée doit réfléchir et analyser, en restant indéfiniment accueillante.

TABLE DES MATIÈRES

CET OUVRAGE A ÉTÉ ACHEVÉ D'IMPRIMER LE VINGT FÉVRIER MIL NEUF CENT SOIXANTE-CINQ SUR LES PRESSES DE L'IMPRIMERIE CORBIÈRE ET JUGAIN À ALENÇON ET INSCRIT DANS LES REGISTRES DE L'ÉDITEUR SOUS LE NUMÉRO 1285

Imprimé en France

64-78 N° de code : 659-10